

Docket No. 216631US2

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Kouji YOSHIDA

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: DESIGN METHOD FOR CONTROL SYSTEM, CONTROL SYSTEM, ADJUSTMENT METHOD FOR CONTROL SYSTEM, EXPOSURE METHOD, AND EXPOSURE APPARATUS



REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2000-362694	November 29, 2000

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
(B) Application Serial No.(s)
☐ are submitted herewith
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.


Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913



22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 10/98)

C. Irvin McClelland
Registration Number 21,124

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC921 U.S. PTO
09/994827
11/28/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年11月29日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-362694

出 願 人

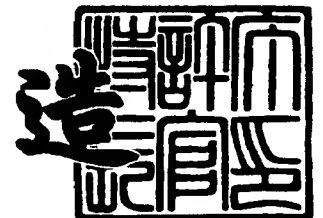
Applicant(s):

株式会社ニコン

2001年11月 9日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3098777

【書類名】 特許願

【整理番号】 00-00571

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
 内

 【氏名】 吉田 幸司

【特許出願人】

 【識別番号】 000004112

 【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代理人】

 【識別番号】 100102901

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 立石 篤司

 【電話番号】 042-739-6625

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 053132

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 制御系の設計方法、制御系、制御系の調整方法及び露光方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 制御対象を制御する制御系の設計方法であって、

前記制御系に応じて、少なくとも 1 つの連続値パラメータを含む制御系モデルを用意する第 1 工程と；

前記連続値パラメータの変化に対して単峰性であることが保証されていない、前記制御系の性能を評価する少なくとも 1 つの評価関数を用意する第 2 工程と；

前記評価関数の値を最適化する前記連続値パラメータの値を求める第 3 工程と；を含む制御系の設計方法。

【請求項 2】 前記第 3 工程では、遺伝的アルゴリズムを使用して、前記連続値パラメータの値の最適解を求めることを特徴とする請求項 1 に記載の制御系の設計方法。

【請求項 3】 制御対象を制御する制御系の設計方法であって、

前記制御系に応じて、少なくとも 1 つの連続値パラメータを含む制御系モデルを用意する第 1 工程と；

前記制御系の性能を評価する、前記連続値パラメータの変化に対して互いに独立に変化する複数の評価関数を用意する第 2 工程と；

前記複数の評価関数の値を同時に最適化する前記連続値パラメータの値を求める第 3 工程と；を含む制御系の設計方法。

【請求項 4】 前記複数の評価関数の少なくとも 1 つは、前記連続値パラメータの変化に対して単峰性であることが保証されていないことを特徴とする請求項 3 に記載の制御系の設計方法。

【請求項 5】 前記第 3 工程では、遺伝的アルゴリズムを使用して、前記連続値パラメータの値の最適解を求めることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の制御系の設計方法。

【請求項 6】 前記第 3 工程では、前記複数の連続値パラメータの値に関する複数のパレート最適解を同時に求めることを特徴とする請求項 5 に記載の制御系の設計方法。

【請求項 7】 前記制御対象は、物体を搭載するステージであり、
前記制御系は、前記ステージを駆動制御するステージ制御系であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の制御系の設計方法。

【請求項 8】 請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の制御系の設計方法を使用して設計された制御系。

【請求項 9】 制御対象を制御する、少なくとも 1 つの連続値パラメータを含む制御系の調整方法であって、

前記連続値パラメータの変化に対して単峰性であることが保証されていない、前記制御系の性能を評価する少なくとも 1 つの評価関数を用意する最適化準備工程と；

前記評価関数の値を最適化する前記連続値パラメータの値を求める最適化工程と；

前記連続値パラメータを、前記最適化工程で求められた値に設定する設定工程とを含む制御系の調整方法。

【請求項 1 0】 前記最適化工程では、遺伝的アルゴリズムを使用して、前記連続値パラメータの値の最適解を求めることを特徴とする請求項 9 に記載の制御系の調整方法。

【請求項 1 1】 制御対象を制御する、少なくとも 1 つの連続値パラメータを含む制御系の調整方法であって、

前記連続値パラメータの設計最適値を、請求項 1 又は 2 に記載の制御系の設計方法を使用して求める設計工程と；

前記設計最適値を含む所定範囲を前記連続値パラメータの可変範囲として、前記制御系による前記制御対象の制御における前記評価関数の値を最適化する前記連続値パラメータの値を求める最適化工程と；

前記連続値パラメータを、前記最適化工程で求められた値に設定する設定工程と；を含む制御系の調整方法。

【請求項 1 2】 前記最適化工程では、遺伝的アルゴリズムを使用して、前記制御系に関する前記連続値パラメータの値の最適解を求めることを特徴とする請求項 1 1 に記載の制御系の調整方法。

【請求項 1 3】 制御対象を制御する、少なくとも 1 つの連続値パラメータを含む制御系の調整方法であって、

前記制御系の性能を評価する、前記連続値パラメータの変化に対して互いに独立に変化する複数の評価関数を用意する最適化準備工程と；

前記複数の評価関数の値を同時に最適化する前記連続値パラメータの値を求める最適化工程と；

前記連続値パラメータを、前記最適化工程で求められた値に設定する設定工程と；を含む制御系の調整方法。

【請求項 1 4】 前記複数の評価関数の少なくとも 1 つは、前記連続値パラメータの変化に対して単峰性であることが保証されていないことを特徴とする請求項 1 3 に記載の制御系の調整方法。

【請求項 1 5】 前記最適化工程では、遺伝的アルゴリズムを使用して、前記連続値パラメータの値の最適解を求めることを特徴とする請求項 1 3 又は 1 4 に記載の制御系の調整方法。

【請求項 1 6】 前記最適化工程では、前記複数の連続値パラメータの値に関する複数のパレート最適解を同時に求めることを特徴とする請求項 1 5 に記載の制御系の調整方法。

【請求項 1 7】 制御対象を制御する、少なくとも 1 つの連続値パラメータを含む制御系の調整方法であって、

前記連続値パラメータの設計最適値を、請求項 3 ～ 6 のいずれか一項に記載の制御系の設計方法を使用して求める設計工程と；

前記設計最適値を含む所定範囲を前記連続値パラメータの可変範囲として、前記制御系による前記制御対象の制御における前記複数の評価関数の値を同時に最適化する前記連続値パラメータの値を求める最適化工程と；

前記連続値パラメータを、前記最適化工程で求められた値に設定する設定工程と；を含む制御系の調整方法。

【請求項 1 8】 前記最適化工程では、遺伝的アルゴリズムを使用して、前記制御系に関する前記連続値パラメータの値の最適解を求めることを特徴とする請求項 1 7 に記載の制御系の調整方法。

【請求項 1 9】 前記最適化工程では、前記制御系について、前記複数の連続値パラメータの値に関する複数のパレート最適解を同時に求めることを特徴とする請求項 1 8 に記載の制御系の調整方法。

【請求項 2 0】 前記制御対象は、物体を搭載するステージであり、前記制御系は、前記ステージを駆動制御するステージ制御系であることを特徴とする請求項 9 ～ 1 9 のいずれか一項に記載の制御系の調整方法。

【請求項 2 1】 露光用ビームの経路に配置された物体を載置面上に搭載するステージの移動を制御するステージ制御系として、請求項 8 に記載の制御系を用意する露光準備工程と；

前記ステージ制御系により前記ステージを制御しつつ、露光用ビームを射出する露光工程と；を含む露光方法。

【請求項 2 2】 露光用ビームの経路に配置された物体を載置面上に搭載するステージの移動を制御するステージ制御系を、請求項 2 0 に記載の制御系の調整方法により調整する調整工程と；

前記調整工程において調整された前記ステージ制御系により前記ステージを制御しつつ、露光用ビームを射出する露光工程と；を含む露光方法。

【請求項 2 3】 前記物体は、前記露光用ビームによって露光される基板であることを特徴とする請求項 2 1 又は 2 2 に記載の露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、制御系の設計方法、制御系、制御系の調整方法及び露光方法に係り、より詳しくは、制御対象を制御する制御系の設計方法、該制御系の設計方法により設計された制御系、制御対象を制御する制御系の調整方法、及び前記制御系若しくは前記制御系の調整方法を使用する露光方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来より、半導体素子、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下、適宜「マスク」又は「レチクル」と総称する）

に形成されたパターンを投影光学系を介してレジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板（以下、適宜「感応基板」又は「ウエハ」という）上に転写する露光装置が用いられている。かかる露光装置としては、従来は、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影型露光装置（いわゆるステッパ）が主流であったが、半導体素子の高集積化によるパターンの微細化に伴い、より大面積かつ高精度な露光が可能なステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置（スキニング・ステッパ）が主流となりつつある。

【 0 0 0 3 】

いずれのタイプの露光装置でも、高精度露光の観点からは、ウエハを高精度に露光位置に位置決めする必要がある。また、スループットの観点からは、ウエハを高速度で移動させる必要がある。このため、ウエハを移動可能なウエハステージに保持し、該ウエハステージの位置変化を制御することにより、ウエハの移動制御を行う制御系が設けられている。そして、ウエハの移動制御にあたっては、初期位置（現在位置）から目標位置までの目標軌道を制御系に与え、ステージの位置及び速度の計測結果を使用し、位置フィードバック制御と速度フィードバック制御とを併用する方式が、一般的に採用されている。

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】

上述のように、ステージの移動制御にあたって、位置フィードバック制御と速度フィードバック制御とを併用する制御系を設計する場合、位置フィードバックループのループゲイン（以下、「位置ループゲイン」という）と、速度フィードバックループのループゲイン（以下、「速度ループゲイン」という）とは設計において決定することができるパラメータである。かかる設計パラメータの値については、上述の目標位置に対する位置決め精度及び目標位置までの移動時間（整定時間を含む）を含む所定の移動性能の向上に関して最適化された値とすることが望ましいことは勿論であるが、位置ループゲインと速度ループゲインとは、ステージの各移動性能に関し、互いに微妙に影響し合うものである。

【 0 0 0 5 】

すなわち、位置ループゲイン及び速度ループゲインという設計パラメータの値

の変化による所定の移動性能の変化は単純ではない。このため、経験的に定められた設計パラメータ値の範囲において、線形計画法や山登り法等を使用して、設計パラメータ値の局所的な最適解を求めている。

【 0 0 0 6 】

以上のような、制御系の設計段階で決定できる設計パラメータの変化による制御系の所定の性能の変化が単純ではないという事態は、設計パラメータの数にかかわらずしばしば起こることである。こうした場合には、上記と同様にして、局所的な最適解を、線形計画法や山登り法等によって求めている。

【 0 0 0 7 】

すなわち、制御系の設計にあたって、任意に値を設定できるパラメータがあるにもかかわらず、制御系として最適化されたパラメータ値を採用しているとはいえない難かった。

【 0 0 0 8 】

かかる事態は、いくつかの制御パラメータが調整可能な既存の制御系においても同様に発生していた。すなわち、制御系の性能の調整用に、いくつかの制御パラメータが可変なものとされていても、その可変な制御パラメータを最適化された値に設定しているとはいえない難かった。

【 0 0 0 9 】

さらに、制御系によっては、その性能に関して複数の評価基準が存在し、かつ、相互に相反する場合もある。こうした場合には、複数の評価基準ごとにトレードオフ比を決めることにより単目的化して制御パラメータの値を最適化する手法が採用されていた。

【 0 0 1 0 】

しかし、複数の評価基準ごとの最適なトレードオフ比を予め知ることは一般にはできない。このため、当該トレードオフ比の決定は、設計者の負担となっていた。

【 0 0 1 1 】

本発明は、かかる事情の下でなされたものであり、その第1の目的は、所望の制御性能について最適化された制御系の設計方法を提供することにある。

【 0 0 1 2 】

また、本発明の第2の目的は、~~所望の制御性能について最適化された制御系を~~
提供することにある。

【 0 0 1 3 】

また、本発明の第3の目的は、制御系を所望の制御性能について最適化する制
御系の調整方法を提供することにある。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の第4の目的は、スループット又は露光精度の向上を可能とする
露光方法を提供することにある。

【 0 0 1 5 】

【課題を解決するための手段】

本発明の第1の制御系の設計方法は、制御対象（W S T）を制御する制御系（
W C S_X）の設計方法であって、前記制御系に応じて、少なくとも1つの連続値
パラメータを含む制御系モデルを用意する第1工程と；前記連続値パラメータの
変化に対して単峰性であることが保証されていない、前記制御系の性能を評価す
る少なくとも1つの評価関数を用意する第2工程と；前記評価関数の値を最適化
する前記連続値パラメータの値を求める第3工程と；を含む制御系の設計方法で
ある。

【 0 0 1 6 】

これによれば、制御系の設計段階で想定した制御系モデルにおいて、その制御
系モデルが有する少なくとも1つの連続値パラメータの変化に対して、制御系の
性能の評価基準となる評価関数の変化が単峰性が保証されていない場合であって
も、第3工程において、当該評価関数に関し、連続値パラメータについて大域的
な最適化を行って、最適解を求める。このため、当該連続値パラメータについて
、大域的に最適化されたパラメータ値を求めることができる。したがって、着目
した性能の向上について最適化された制御系を設計することができる。

【 0 0 1 7 】

本発明の第1の制御系の設計方法では、前記第3工程において、遺伝的アルゴ
リズムを使用して、前記連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。

かかる場合には、大域的な最適化に適した遺伝的アルゴリズムの手法を使用するので、簡易かつ迅速に連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。

【 0 0 1 8 】

本発明の第2の制御系の設計方法は、制御対象(WST)を制御する制御系(WCS_X)の設計方法であって、前記制御系に応じて、少なくとも1つの連続値パラメータを含む制御系モデルを用意する第1工程と；前記制御系の性能を評価する、前記連続値パラメータの変化に対して互いに独立に変化する複数の評価関数を用意する第2工程と；前記複数の評価関数の値を同時に最適化する前記連続値パラメータの値を求める第3工程と；を含む制御系の設計方法である。

【 0 0 1 9 】

これによれば、制御系としての性能評価の基準が、制御系モデルが有する少なくとも1つの連続値パラメータの変化に対して互いに独立に変化する複数の評価関数であっても、第3工程において、当該複数の評価関数に関し、同時に最適化するべく連続値パラメータについて多目的最適化を行って、最適解を求める。したがって、着目した複数の性能の向上について最適化された制御系を設計することができる。

【 0 0 2 0 】

本発明の第2の制御系の設計方法では、前記複数の評価関数の少なくとも1つが、前記連続値パラメータの変化に対して単峰性であることが保証されていなくともよい。

【 0 0 2 1 】

また、本発明の第2の制御系の設計方法では、前記第3工程において、遺伝的アルゴリズムを使用して、前記連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。かかる場合には、多目的最適化に適した遺伝的アルゴリズムの手法を使用するので、簡易かつ迅速に連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。

【 0 0 2 2 】

ここで、前記第3工程では、前記複数の連続値パラメータの値に関する複数のパレート最適解を同時に求めることができる。ここで、パレート最適解とは、他

の評価関数の値が同等な解はあるが、複数の評価関数の中の少なくとも1つの評価関数について最適化されている解をいう。かかる場合には、最適化にあたっての初期値に依存することなく、一群のパレート最適解すなわち複数の評価関数について様々なトレードオフ比とした場合の最適解が求められる。したがって、求められた一群のパレート最適解に基づいて、最適なトレードオフ比ひいては制御系としての最適解を求めることができる。

【 0 0 2 3 】

本発明の第1及び第2の制御系の設計方法では、前記制御対象を、物体を搭載するステージ（W S T）とし、前記制御系を、前記ステージを駆動制御するステージ制御系（W C S_X）とすることができる。かかる場合には、ステージ制御系の制御系モデルにおける位置ゲインや速度ゲイン等の設計パラメータの値について、位置合わせ精度や位置合わせ時間等の制御系の性能を最適化する最適解を求めることができる。したがって、所望の性能について最適化された設計パラメータ値を有する制御系を設計することができる。

【 0 0 2 4 】

本発明の制御系（W C S_X）は、本発明の制御系の設計方法を使用して設計された制御系である。これによれば、本発明の制御系の設計方法により、所望の性能について制御系モデルにおける設計パラメータの値が最適化されているので、当該所望の性能を向上しつつ、制御対象を制御することができる。

【 0 0 2 5 】

本発明の第1の制御系の調整方法は、制御対象（W S T）を制御する、少なくとも1つの連続値パラメータを含む制御系（W C S_X）の調整方法であって、前記連続値パラメータの変化に対して単峰性であることが保証されていない、前記制御系の性能を評価する少なくとも1つの評価関数を用意する最適化準備工程と；前記評価関数の値を最適化する前記連続値パラメータの値を求める最適化工程と；前記連続値パラメータを、前記第2工程で求められた値に設定する設定工程を含む制御系の調整方法である。

【 0 0 2 6 】

これによれば、実際の制御系において、その制御系が有する少なくとも1つの

連続値パラメータの変化に対して、制御系の性能の評価基準となる評価関数の変化が単峰性が保証されていない場合であっても、第3工程において、当該評価関数に関し、連続値パラメータについて大域的な最適化を行って、最適解を求める。このため、当該連続値パラメータについて、大域的に最適化されたパラメータ値を求めることができる。したがって、着目した性能の向上について最適化された制御系に調整することができる。

【 0 0 2 7 】

本発明の第1の制御系の調整方法では、前記最適化工程において、遺伝的アルゴリズムを使用して、前記連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。かかる場合には、大域的な最適化に適した遺伝的アルゴリズムの手法を使用するので、簡易かつ迅速に連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。

【 0 0 2 8 】

本発明の第2の制御系の調整方法は、制御対象(WST)を制御する、少なくとも1つの連続値パラメータを含む制御系(WCS_X)の調整方法であって、前記連続値パラメータの設計最適値を、本発明の第1の制御系の設計方法を使用して求める設計工程と；前記設計最適値を含む所定範囲を前記連続値パラメータの可変範囲として、前記制御系による前記制御対象の制御における前記評価関数の値を最適化する前記連続値パラメータの値を求める最適化工程と；前記連続値パラメータを、前記最適化工程で求められた値に設定する設定工程と；を含む制御系の調整方法である。

【 0 0 2 9 】

これによれば、本発明の第1の制御系の設計方法によって設計された制御系について、該制御系における連続パラメータの最適解の探索範囲である連続値パラメータの可変範囲を、制御系モデルと実際の制御系との間で生じ得る相違に応じた、設計最適値を含む所定の範囲に限定する。そして、かかる探索範囲において評価関数の値を最適化する連続値パラメータの値を求め、求められた連続値パラメータの値を、制御系の連続値パラメータの値として設定する。したがって、迅速に実際の制御系における連続値パラメータの最適解を求めることができるので、迅速に制御系を、所望の性能について最適化調整をすることができる。

【 0 0 3 0 】

本発明の第2の制御系の調整方法では、前記最適化工程において、遺伝的アルゴリズムを使用して、前記制御系に関する前記連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。かかる場合には、大域的な最適化に適した遺伝的アルゴリズムの手法を使用するので、上記の所定の範囲における連続値パラメータの変化に対して単峰性が保証されていなくとも、簡易かつ迅速に連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。

【 0 0 3 1 】

本発明の第3の制御系の調整方法は、制御対象（W S T）を制御する、少なくとも1つの連続値パラメータを含む制御系（W C S_X）の調整方法であって、前記制御系の性能を評価する、前記連続値パラメータの変化に対して互いに独立に変化する複数の評価関数を用意する最適化準備工程と；前記複数の評価関数の値を同時に最適化する前記連続値パラメータの値を求める最適化工程と；前記連続値パラメータを、前記最適化工程で求められた値に設定する設定工程を含む制御系の調整方法である。

【 0 0 3 2 】

これによれば、本発明の第2の制御系の設計方法によって設計された制御系について、該制御系における連続パラメータの最適解の探索範囲である連続値パラメータの可変範囲を、制御系モデルと実際の制御系との間で生じ得る相違に応じた、設計最適値を含む所定の範囲に限定する。そして、かかる探索範囲において評価関数の値を最適化する連続値パラメータの値を求め、求められた連続値パラメータの値を、制御系の連続値パラメータの値として設定する。したがって、迅速に実際の制御系における連続値パラメータの最適解を求めることができるので、迅速に制御系を、所望の性能について最適化調整をすることができる。

【 0 0 3 3 】

本発明の第3の制御系の調整方法では、前記複数の評価関数の少なくとも1つが、前記連続値パラメータの変化に対して単峰性であることが保証されていなくともよい。

【 0 0 3 4 】

また、本発明の第3の制御系の調整方法では、前記最適化工程において、遺伝的アルゴリズムを使用して、前記連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。かかる場合には、多目的最適化に適した遺伝的アルゴリズムの手法を使用するので、簡易かつ迅速に連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。

【0035】

ここで、前記最適化工程では、前記複数の連続値パラメータの値に関する複数のパレート最適解を同時に求めることができる。かかる場合には、最適化にあたっての初期値に依存することなく、一群のパレート最適解すなわち複数の評価関数について様々なトレードオフ比とした場合の最適解が求められる。したがって、求められた一群のパレート最適解に基づいて、最適なトレードオフ比ひいては制御系としての最適解を求めることができる。

【0036】

本発明の第4の制御系の調整方法は、制御対象(W)を制御する、少なくとも1つの連続値パラメータを含む制御系(WCS_X)の調整方法であって、前記連続値パラメータの設計最適値を、本発明の第2の制御系の設計方法を使用して求める設計工程と；前記設計最適値を含む所定範囲を前記連続値パラメータの可変範囲として、前記制御系による前記制御対象の制御における前記複数の評価関数の値を同時に最適化する前記連続値パラメータの値を求める最適化工程と；前記連続値パラメータを、前記最適化工程で求められた値に設定する設定工程と；を含む制御系の調整方法である。

【0037】

これによれば、本発明の第2の制御系の設計方法によって設計された制御系について、該制御系における連続パラメータの最適解の探索範囲である連続値パラメータの可変範囲を、制御系モデルと実際の制御系との間で生じ得る相違に応じた、設計最適値を含む所定の範囲に限定する。そして、かかる探索範囲において評価関数の値を最適化する連続値パラメータの値を求め、求められた連続値パラメータの値を、制御系の連続値パラメータの値として設定する。したがって、迅速に実際の制御系における連続値パラメータの最適解を求めることができるので

、迅速に制御系を、所望の性能について最適化調整をすることができる。

【 0 0 3 8 】

本発明の第 4 の制御系の調整方法では、前記最適化工程において、遺伝的アルゴリズムを使用して、前記制御系に関する前記連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。かかる場合には、多目的最適化に適した遺伝的アルゴリズムの手法を使用するので、簡易かつ迅速に連続値パラメータの値の最適解を求めることができる。

【 0 0 3 9 】

ここで、前記最適化工程では、前記制御系について、前記複数の連続値パラメータの値に関する複数のパレート最適解を同時に求めることができる。かかる場合には、最適化にあたっての初期値に依存することなく、一群のパレート最適解すなわち複数の評価関数について様々なトレードオフ比とした場合の最適解が求められる。したがって、求められた一群のパレート最適解に基づいて、最適なトレードオフ比ひいては制御系としての最適解を求めることができる。

【 0 0 4 0 】

本発明の第 1 ～第 4 の制御系の調整方法では、前記制御対象を、物体を搭載するステージ (W S T) とし、前記制御系を、前記ステージを駆動制御するステージ制御系 (W C S_X) とすることができる。かかる場合には、ステージ制御系における位置ゲインや速度ゲイン等の設計パラメータの値について、位置合わせ精度や位置合わせ時間等の制御系の性能を最適化する最適解を求めることができる。したがって、所望の性能について、制御系の最適化調整をすることができる。

【 0 0 4 1 】

本発明の第 1 の露光方法は、露光用ビームの経路に配置された物体 (W) を載置面上に搭載するステージ (W S T) の移動を制御するステージ制御系 (W C S_X) として、本発明の制御系を用意する露光準備工程と；前記ステージ制御系により前記ステージを制御しつつ、露光用ビームを射出する露光工程と；を含む露光方法である。これによれば、露光にあたって移動が必要な物体の移動制御を行う制御系として、所望の移動性能についてほぼ最適化された本発明の制御系を使用する。したがって、迅速性と高精度との調和をとって露光を行うことが可能と

なる。

【 0 0 4 2 】

本発明の第 2 の露光方法は、露光用ビームの経路に配置された物体 (W) を載置面上に搭載するステージ (W S T) の移動を制御するステージ制御系 (W C S_X) を、本発明の制御系の調整方法により調整する調整工程と；前記調整工程において調整された前記ステージ制御系により前記ステージを制御しつつ、露光用ビームを射出する露光工程と；を含む露光方法である。これによれば、露光にあたって移動が必要な物体の移動制御を行う制御系が、本発明の制御系の調整方法によって、所望の性能について最適化調整される。したがって、迅速性と高精度との調和をとって露光を行うことが可能となる。

【 0 0 4 3 】

本発明の第 1 及び第 2 の露光方法では、前記物体を、前記露光ビームによって露光される基板 (W) とすることができる。かかる場合には、露光対象である基板を搭載するステージの移動性能や位置決め精度等の所望の性能について最適化された制御系によってステージが制御されるので、スループットや露光精度の向上が可能となる。

【 0 0 4 4 】

【発明の実施の形態】

《第 1 の実施形態》

以下、本発明の第 1 の実施形態を、図 1 ～図 1 1 を参照して説明する。

【 0 0 4 5 】

図 1 には、本発明の第 1 の実施形態に係る露光装置 1 0 0 の概略構成が示されている。この露光装置 1 0 0 は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置である。この露光装置 1 0 0 は、照明系 1 0、レチクル R を保持するレチクルステージ R S T、投影光学系 P L、基板としてのウエハ W が搭載されるステージとしてのウエハステージ W S T、制御系としてのステージ制御装置 1 9、及び装置全体を統括制御する主制御装置 2 0 等を備えている。

【 0 0 4 6 】

前記照明系 1 0 は、光源、フライアイレンズ等からなる照度均一化光学系、リ

レーンズ、可変NDフィルタ、レチクルブラインド、及びダイクロイックミラ
~~ー等（いずれも不図示）を含んで構成されている。~~こうした照明系の構成は、例
 えば、特開平10-112433号公報に開示されている。この照明系10では
 、回路パターン等が描かれたレチクルR上のレチクルブラインドで規定されたス
 リット状の照明領域部分を照明光ILによりほぼ均一な照度で照明する。

【0047】

前記レチクルステージRST上にはレチクルRが、例えば真空吸着により固定
 されている。レチクルステージRSTは、不図示のレチクルステージ駆動部によ
 って、レチクルRの位置決めのため、照明系10の光軸（後述する投影光学系P
 Lの光軸AXに一致）に垂直なXY平面内で微少駆動可能であるとともに、所定
 の走査方向（ここではY方向とする）に指定された走査速度で駆動可能となっ
 ている。さらに、本実施形態では、レチクルステージRSTがZ方向にも微小駆動
 可能となっている。

【0048】

レチクルステージRSTのステージ移動面内の位置はレチクルレーザ干渉計（
 以下、「レチクル干渉計」という）16によって、移動鏡15を介して、例えば
 0.5～1nm程度の分解能で常時検出される。レチクル干渉計16からのレチ
 クルステージRSTの位置情報はステージ制御装置19に送られ、ステージ制御
 装置19はレチクルステージRSTの位置情報に基づいてレチクルステージ駆動
 部（図示省略）を介してレチクルステージRSTを駆動する。なお、レチクルス
 テージRSTの位置情報はステージ制御装置19を介して、主制御装置20に供
 給されている。

【0049】

前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置さ
 れ、その光軸AXの方向がZ軸方向とされている。投影光学系PLとしては、両
 側テレセントリックな光学系であり、所定の縮小倍率（例えば1/5、1/4、
 1/6）を有する屈折光学系が使用されている。このため、照明系10からの照
 明光ILによってレチクルRの照明領域が照明されると、このレチクルRを通過
 した照明光ILにより、投影光学系PLを介してその照明領域内のレチクルRの

回路パターンの縮小像（部分倒立像）が表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハW上に形成される。

【 0 0 5 0 】

前記ウエハステージWSTは、投影光学系PLの図1における下方で、ベースBS上に配置され、このウエハステージWST上には、ウエハホルダ25が載置されている。このウエハホルダ25上にウエハWが例えば真空吸着等によって固定されている。ウエハホルダ25は不図示の駆動部により、投影光学系PLの光軸直交面に対し、任意方向に傾斜可能で、かつ投影光学系PLの光軸AX方向（Z方向）にも微動可能に構成されている。また、このウエハホルダ25は光軸AX回りの微小回転動作も可能になっている。

【 0 0 5 1 】

ウエハステージWSTは走査方向（Y方向）の移動のみならず、ウエハW上の複数のショット領域を前記照明領域と共役な露光領域に位置させることができるように、走査方向に垂直な方向（X方向）にも移動可能に構成されており、ウエハW上の各ショット領域を走査（スキャン）露光する動作と、次のショットの露光開始位置まで移動する動作とを繰り返すステップ・アンド・スキャン動作を行う。このウエハステージWSTはモータ等を含むウエハステージ駆動部24によりXY2次元方向に駆動される。

【 0 0 5 2 】

ウエハステージWSTのXY平面内での位置はウエハレーザ干渉計18によって、移動鏡17を介して、例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出されている。ウエハステージWSTの位置情報WP（ WP_X , WP_Y ）はステージ制御装置19に送られ、ステージ制御装置19はこの位置情報WPに基づいてウエハステージWSTを制御する。なお、ウエハステージWSTの位置情報WP（ WP_X , WP_Y ）はステージ制御装置19を介して、主制御装置20に供給されている。

【 0 0 5 3 】

また、ウエハステージWST上には、後述するアライメント顕微鏡ASの検出中心から投影光学系PLの光軸AXまでの距離を計測するベースライン計測等の

ための各種基準マークが形成された不図示の基準マーク板が固定されている。

【 0 0 5 4 】

前記アライメント顕微鏡 A S は、投影光学系 P L の側面に配置された、オフアクシス方式のアライメントセンサである。このアライメント顕微鏡 A S は、ウェハ W 上の各ショット領域に付設されたアライメントマーク（ウェハマーク）や上記の基準マーク板上の基準マークの撮像結果を、主制御装置 2 0 に供給する。

【 0 0 5 5 】

また、露光装置 1 0 0 では、投影光学系 P L の最良結像面に向けて複数のスリット像を形成するための結像光束を光軸 A X 方向に対して斜め方向より供給する照射光学系 1 3 と、その結像光束のウェハ W の表面での各反射光束をそれぞれスリットを介して受光する受光光学系 1 4 とから成る斜入射方式の多点フォーカス検出系が、投影光学系 P L を支える支持部（図示省略）に固定されている。この多点フォーカス検出系（1 3、1 4）としては、例えば特開平 5 - 1 9 0 4 2 3 号公報に開示されるものと同様の構成のものが用いられ、ステージ制御装置 1 9 はこの多点フォーカス検出系（1 3、1 4）からのウェハ位置情報に基づいてウェハホルダ 2 5 を Z 方向及び傾斜方向に駆動する。

【 0 0 5 6 】

前記主制御装置 2 0 は、図 2 に示されるように、露光装置 1 0 0 の動作全般を制御する制御装置 3 9 と、ステージ制御装置 1 9 におけるパラメータの最適値を算出するパラメータ最適化装置 3 1 と、該最適化装置 3 1 によって指示されたパラメータ値のデータ S P D をステージ制御装置 1 9 に供給する最適値設定装置 3 2 とを備えている。また、主制御装置 2 0 は、制御装置 3 9 又はパラメータ最適化装置 3 1 から供給されたレチクルステージ R S T やウェハステージ W S T の軌道条件（例えば、初期位置（及び初期速度）、最終位置（及び最終速度）等）に基づいて、各時刻における目標位置を算出する軌道算出装置 3 6 を更に備えている。なお、軌道算出装置 3 6 によって算出された目標位置情報はデータ S T D としてステージ制御装置 1 9 に供給される。また、主制御装置 2 0 には、表示装置 2 1 及び入力装置 2 2 が接続されている（図 1 参照）。

【 0 0 5 7 】

なお、本実施形態では、主制御装置20を上記のように、各種の装置を組み合わせて構成したが、主制御装置20を計算機システムとして構成し、主制御装置20を構成する上記の各装置の機能を主制御装置20に内蔵されたプログラムによって実現することも可能である。

【0058】

前記ステージ制御装置19は、図3に示されるように、主制御装置20からデータSTDとして供給された目標位置情報に基づいて、各時刻におけるレチクルステージRST用の目標位置(Y位置)TRP(t)(tは時刻)(以下、「目標軌道TRP(t)」と記す)、ウエハステージWST用の目標X位置TWP_X(t)(以下、「目標軌道TWP_X(t)」と記す)、及びウエハステージWST用の目標Y位置TWP_Y(t)(以下、「目標軌道TWP_Y(t)」と記す)を生成する目標軌道発生装置41と、レチクル位置制御部42と、ウエハX位置制御部43と、ウエハY位置制御部44とを備えている。ここで、レチクル位置制御部42は、目標軌道TRP(t)及びレチクル干渉計16からの位置情報RPに基づき、レチクル駆動部を介して、レチクルステージRSTの位置制御を行う。また、ウエハX位置制御部43及びウエハY位置制御部44は、目標軌道TWP_X(t)及び目標軌道TWP_Y(t)、並びにウエハ干渉計18からのX位置情報WP_X及びY位置情報WP_Yに基づき、駆動指示データWDD(WDD_X, WDD_Y)を供給することにより、ウエハ駆動部24を介して、ウエハステージWSTの位置制御を行う。

【0059】

なお、レチクル位置制御部42、ウエハX位置制御部43、及びウエハY位置制御部44のそれぞれは、後述する制御パラメータの値が設定可能に構成されており、主制御装置20から供給されたパラメータ値データSPDに応じたパラメータ値が設定されるようになっている。

【0060】

これらのレチクル位置制御部42、ウエハX位置制御部43、又はウエハY位置制御部44が関わるレチクルステージRST又はウエハステージWSTの位置制御の制御系の構成が、ウエハX位置制御部43が関わる制御系WC S_Xについ

て代表的に、図 4 に示されている。

【 0 0 6 1 】

図 4 に示されるように、この制御系 $WC S_X$ は、(a) 目標軌道 $TWP_X(t)$ と、後述する積分器 5 9 の出力として表現される位置情報 WP_X (ウエハステージ WST の実際の位置 (ウエハ干渉計 1 8 による計測値に相当)) との差である位置偏差を算出する減算器 5 1 と、(b) この減算器 5 1 から出力される位置偏差を速度値に変換する変換増幅器 5 2 (変換増幅率 $= K P_X$) とを備えている。また、この制御系 $WC S_X$ は、(c) この変換増幅器 5 2 から出力された速度値を目標値として、速度制御を行う速度制御部 5 0 と、(d) この速度制御部 5 0 から出力される速度を積分する積分回路 5 9 とを備えている。ここで、積分回路 5 9 からの位置情報は、増幅器 6 1 により 1 倍されて減算器 5 1 にフィードバックされており、これによりフィードバックループとしての位置制御ループが構成されている。

【 0 0 6 2 】

前記速度制御部 5 0 は、a. 変換増幅器 5 2 から出力された速度値と、後述する増幅器 6 0 の出力値との差である速度偏差を算出する減算器 5 3 と、b. この減算器 5 3 から出力される速度偏差を変換する変換増幅器 5 4 (変換増幅率 $= K V_X$) とを備えている。また、速度制御部 5 0 は、c. 変換増幅器 5 4 から出力された変換値について (比例 + 積分 $\{ (s + A_X) / s \}$) 演算して加速度値 (駆動信号 WDD_X の値に相当) に変換する PI 部 5 5 と、d. 上記の PI 部 5 5 から出力された加速度値を推力値に変換する変換増幅器 5 6 (変換増幅率 $= K \alpha_X$; ウエハステージ駆動部 2 4 に相当) とを備えている。更に、速度制御部 5 0 は、e. 変換増幅器 5 6 が出力した推力値を加速度値に変換する変換器 5 7 (変換率 $= M_{WST}$; ウエハステージ WST に相当) と、f. 変換器 5 7 が出力した加速度値を積分して速度値とする積分器 5 8 とを備えている。そして、積分器 5 8 から出力された速度値は、増幅器 6 0 (増幅率 $= K F_X$) により増幅されて減算器 5 3 にフィードバックされており、これにより速度制御ループが構成されている。

【 0 0 6 3 】

すなわち、図 4 の制御系 WCS_X は、位置制御ループの内部ループとして速度制御ループを有する多重ループ制御系からなる位置の制御系である。

【0064】

また、変換増幅器 52 の変換増幅率 KP_X 、変換増幅器 54 の変換増幅率 KV_X 、及び増幅器 60 の増幅率 KF_X は、主制御装置 20 によって設定可能な構成となっている。すなわち、主制御装置 20 から、データ SPD として、変換増幅率 KP_X 、変換増幅率 KV_X 、及び増幅率 KF_X の値が供給されると、その値が設定されるようになっている。

【0065】

なお、上記の構成の内、減算器 51、変換増幅器 52、減算器 53、変換増幅器 54、PI 部 55、変換器 59、及び増幅器 60 が、これらの機能をそのまま有する形態でウエハ X 位置制御部 43 に実装されている。また、積分器 58、59 の機能については、ウエハ干渉計 18、及びウエハ X 位置制御部 43 に実装された、ウエハ干渉計 18 からの位置情報 WP_X の微分器（不図示）によって実現されている。

【0066】

以上、ウエハ X 位置制御部 43 及びこれに関わる制御系 WCS_X の構成について説明したが、レチクル位置制御部 42 及びこれに関わる制御系や、ウエハ Y 位置制御部 44 及びこれに関わる制御系も同様に構成されている。以下、レチクル位置制御部 42 及びこれに関わる制御系を制御系 RCS と記し、また、ウエハ Y 位置制御部 44 及びこれに関わる制御系 WCS_Y と記すものとする。

【0067】

次に、本実施形態におけるレチクルステージ RST 及びウエハステージ WST の位置制御の制御系 RCS 、 WCS_X 、 WCS_Y の調整、すなわち、制御パラメータの最適化調整を、まず、制御系 WCS_X について説明する。かかる制御系 WCS_X の調整においては、設定可能な制御パラメータである変換増幅率 KP_X 、変換増幅率 KV_X 、及び増幅率 KF_X の値が最適化される。

【0068】

かかる最適化にあたって、まず、図 5 のサブルーチン 111 において、変換増

幅率 $K P_X$ 、変換増幅率 $K V_X$ 、及び増幅率 $K F_X$ に関する前処理が行われる。この前処理は、~~変換増幅率 $K P_X$ 、変換増幅率 $K V_X$ 、及び増幅率 $K F_X$ の最適値が存在する範囲を求めるために行われる。~~

【0069】

サブルーチン111では、まず、図6のステップ121において、パラメータ最適化装置31が、図4に示された制御系 $W C S_X$ に応じた制御系モデルを作成する。この制御系モデルでは、変換増幅率 $K P_X$ 、変換増幅率 $K V_X$ 、及び増幅率 $K F_X$ が未知数とされている。また、定数 α_X はPI部55の構成によって定まる定数として、その設計値が採用されており、変換増幅率 $K \alpha_X$ は、ウエハステージ駆動部24の構成によって定まる定数として、その設計値が採用されている。

【0070】

次に、図6のステップ122において、パラメータ最適化装置31が、制御系 $W C S_X$ の性能を評価するための評価関数を設定する。一般に、制御系 $W C S_X$ の性能は、ウエハステージ $W S T$ の出発 X 位置から目標終点 X 位置までの目標軌道 $T W P_X(t)$ が与えられた場合、目標終点 X 位置への位置決め精度が高いこと、及び出発 X 位置 X_S から動き出して終点 X 位置 X_E に整定するまでの時間が短いことによって評価される。すなわち、目標終点 X 位置への位置決め誤差を $|\Delta X|$ とし、終点 X 位置に整定するまでの時間 T としたとき、誤差 $|\Delta X|$ 及び時間 T の双方が小さいことが、制御系 $W C S_X$ の性能が高いことを意味する。そこで、本実施形態では、評価関数 $F(K P_X, K V_X, K F_X)$ （以下、単に「評価関数 F 」とも記す）を、

$$F(K P_X, K V_X, K F_X) = |\Delta X| + K \cdot T \quad \dots (1)$$

と定義している。ここで、定数 K は、誤差 $|\Delta X|$ に対する時間 T の重みを定める重み付け係数である。

【0071】

次いで、ステップ123において、制御系モデルの性能評価に使用する目標軌道 $T W P_X(t)$ が求められる。

【0072】

かかる目標軌道 $T W P_X(t)$ を求めるのにあたって、まず、パラメータ最適

化装置 3 1 が、加速開始時刻 t_S における X 位置 X_S と加速終了時刻 t_E における目標 X 位置 X_E とを定めるとともに、時刻 t_S における速度 V_S 及び加速度 α_S 、並びに時刻 t_E における速度 V_E 及び加速度 α_E を 0 m/s 及び 0 m/s^2 とする。すなわち、開始 X 位置 X_S に停止している状態から、ウエハステージ W S T の移動を開始し、目標 X 位置 X_E まで移動させて停止させることを想定する。

【 0 0 7 3 】

次に、停止状態から等速移動状態まで加速期間の終了時及び等速移動状態から停止状態までの減速期間の終了時それぞれにおけるウエハステージ W S T の振動を抑制するため、加速度の変化率であるジャークの時間変化が図 7 に示されるような変化となるように、目標軌道 $TWP_X(t)$ が算出される。すなわち、ジャークの時間変化が図 7 (A) に示す通りとなること、及び上記の境界条件を満たすことを条件として、目標軌道 $TWP_X(t)$ が求められる。こうして求められた目標軌道 $TWP_X(t)$ が図 7 (B) に示されている。

【 0 0 7 4 】

次に、サブルーチン 1 2 4 において、以上のようにして求められた目標軌道 $TWP_X(t)$ が、ステップ 1 2 1 で作成した制御系モデルに入力されるとして、評価関数 F を最小化する変換増幅率 KP_X 、変換増幅率 KV_X 、及び増幅率 KF_X の値、すなわち最適解が求められる。なお、本実施形態では、遺伝的アルゴリズムを使用して、最適解を探索し、その探索結果から最適解を求めることにしている。また、こうして遺伝的アルゴリズムを使用するのは、変換増幅率 KP_X 、変換増幅率 KV_X 、及び増幅率 KF_X の値はいずれも評価関数 F の値に関連するが、評価関数 F の値の変化への寄与は、互いに微妙に影響し合うことが予想され、変数 (KP_X , KV_X , KF_X) の変化に対して評価関数 F の変化について単峰性が保証されないからである。すなわち、評価関数 F を最小化するという観点から変数 (KP_X , KV_X , KF_X) の最適値を探索するにあたっては、大域的探索が必要となるからである。

【 0 0 7 5 】

以下、サブルーチン 1 2 4 の処理である変数 (KP_X , KV_X , KF_X) の最適値の探索について、図 8 のフローチャートに沿って、図 9 及び図 1 0 (A) ～図

10 (F) を適宜参照しながら説明する。なお、図9には、本実施形態において、遺伝的アルゴリズムで遺伝子表現された解の集合である遺伝子集団が最適解を含む遺伝子集団に変遷していく過程が模式的に示されており、図8のフローチャートには、図9に示されている過程を実現する処理のフローチャートが示されている。また、本実施形態における遺伝的アルゴリズムによる探索では、初期集団を第1世代とし、第 t_M 世代（例えば、 $t_M = 100000$ ）までの世代交代を行わせることとしている。

【0076】

まず、図8のステップ201において、第0世代 ($t \leftarrow 0$) の段階であることを設定する。次に、ステップ202において、遺伝子集団の初期集団を生成する。この初期集団は、各変数 ($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$) をそれぞれランダムに特定の値としたものを1組の遺伝子として、複数組の遺伝子から構成される。本実施形態では、初期集団を40組の遺伝子から構成した。なお、初期集団の遺伝子の数を多くすると、最適解の大域探索性がより保証されるが、総演算量がより多くなることになる。また、初期集団の遺伝子の数を少なくすると、総演算量がより少なくなるが、最適解の大域探索がより保証されないことになる。そして、ステップ203において、上述の初期集団を第1世代とする ($t \leftarrow t + 1$)。

【0077】

次に、ステップ204において、第 t_M 世代までの世代交代が行われたか否かが判定される。ここでは、世代交代がまだ行われていないので、処理はステップ205へ移行する。ステップ205では、母集団である遺伝子集団からランダムに3個の親遺伝子 $PRT1$, $PRT2$, $PRT3$ を選択（図9における選択A）を行う。そして、ステップ206において、これらの親遺伝子 $PRT1$, $PRT2$, $PRT3$ から10個の子遺伝子 $C1 \sim C10$ を交叉によって生成する。ここで、交叉とは、各親遺伝子の形質を反映した形質を有する子遺伝子を生成することをいう。こうした交叉の実行には、所望の交叉方式に応じて用意された専用の交叉オペレータが使用される。

【0078】

ここで、各遺伝子を構成する各変数 ($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$) は連続値である

ので、これに適した交叉方式を採用する必要がある。連続値を対象とする交叉方式用の交叉オペレータとしては、~~UNDX~~ (「A Real Coded Genetic Algorithm for Function Optimization using Unimodal Distributed Crossover, I. Ono and S. Kobayashi, Proceeding of 7th International Joint Conference on Genetic Algorithms, pp.246-253, 1997」参照) や $BLX-\alpha$ (「Real-coded Genetic Algorithm and Interval-Schemata, L.J. Eshleman and J.D. Schaffer, Foundation of Genetic Algorithms, pp.187-202, 1993」参照) がある。本実施形態では、交叉オペレータとして ~~UNDX~~ を使用している。

【0079】

以下、ステップ206における交叉について、図10(A)～図10(F)を参照して説明する。なお、本実施形態では各遺伝子は3個の成分を有するので、図10(A)～図10(F)に示されるように3次元ベクトル空間内の点として表現される。

【0080】

まず、図10(A)に示されるように、親遺伝子 $PRT1$, $PRT2$, $PRT3$ のベクトル空間内の対応点 PR_1 , PR_2 , PR_3 を設定する。そして、点 PR_1 と点 PR_2 との中点 M 及び点 PR_3 から線分 PR_1PR_2 に下ろした垂線の足を H とする。

【0081】

次に、図10(B)に示されるように、点 M を期待値とし、 σ_a を標準偏差とした正規乱数に従い、線分 PR_1PR_2 上に点 P_1 を生成する。ここで、 σ_a は、点 PR_1 と点 PR_2 との間の距離 L_{12} に比例するようにする。すなわち、

$$\sigma_a = C_a \times L_{12} \quad \dots (2)$$

ここで、 C_a : 定数

とする。(2)式において、定数 C_a は任意に設定することができる。なお、定数 C_a を大きくすると、最適解の大域的な探索がより保証されるが、演算量が増大する。一方、定数 C_a を小さくすると、演算量が減少するが、最適解の大域的な探索がより保証されなくなる。

【0082】

ここで、点Mを期待値とするのは、点Mで表現される遺伝子が親遺伝子PRT1の形質と親遺伝子PRT2の形質とを均等に反映したものである。なお、図10(B)で示されるように生成された点P₁で表現される遺伝子は、親遺伝子PRT1の形質と親遺伝子PRT2の形質とをある比率で反映したしたものとなっている。

【0083】

次いで、図10(C)に示されるように、点P₁を期待値として、 σ_b を標準偏差とした3個の正規乱数に従う3次元の正規分布の確率空間を想定する。 σ_b は定数であればどのような値でも良い。なお、標準偏差 σ_b を大きくすると、最適解の大域的な探索がより保証されるが、演算量が増大する。一方、標準偏差 σ_b を小さくすると、演算量が減少するが、最適解の大域的な探索がより保証されなくなる。

【0084】

引き続き、図10(D)に示されるように、図10(C)で生成した3次元の正規分布の確率空間を持つ3次元の正規乱数に従って点P₂を生成する。この点P₂で表現される遺伝子は、親遺伝子PRT1の形質と親遺伝子PRT2の形質とを反映しているとともに、親遺伝子PRT1の形質及び親遺伝子PRT2の形質以外の形質も反映したものとなっている。

【0085】

次に、図10(E)に示されるように、点P₁を含み、ベクトルP₁P₂に垂直な平面 π を設定する。そして、点P₂から平面 π へ下ろした足を点P₃とする。引き続き、図10(F)に示されるように、点P₁を起点とし、ベクトルP₁P₃に平行な成分を持ち、点P₁を期待値として、 σ_c を標準偏差とした正規乱数に従う長さを持つベクトルP₁P₄となるような点P₄を生成する。ここで、 σ_c は、図10(A)における点Hと点P₃との距離 $L_{H3}^{1/3}$ に比例するようにする。すなわち、

$$\sigma_c = C_c \times L_{H3}^{1/3} \quad \dots (3)$$

ここで、 C_c : 定数

とする。(3)式において、定数 C_c は任意に設定することができる。なお、定

数 C_c を大きくすると、最適解の大域的な探索がより保証されるが、演算量が増大する。一方、定数 C_c を小さくすると、演算量が減少するが、最適解の大域的な探索がより保証されなくなる。

【 0 0 8 6 】

こうして得られた点 P_4 で表現される遺伝子は、親遺伝子 $PR1$ 及び親遺伝子 $PR2$ の双方の形質を基本としながら、親遺伝子 $PR3$ の形質もある程度反映しつつ、これらの親遺伝子以外の形質も反映したものとなっている。

【 0 0 8 7 】

以上のようにして、1回の交叉が行われ、点 P_4 で表現される新生遺伝子すなわち子遺伝子 C_1 が得られる。すなわち、点 P_4 の3次元の座標値が、子遺伝子 C_1 の3個の変数(KP_X , KV_X , KF_X)値に対応する。

【 0 0 8 8 】

この後、以上の図10(A)～図10(F)を参照して説明した交叉を、9回繰り返すことで、総計10個の子遺伝子 $C_1 \sim C_{10}$ を生成する。

【 0 0 8 9 】

次いで、図8に戻り、ステップ207において、家族集合(図9参照)のメンバーである親遺伝子 $PRT1$, $PRT2$ 及び子遺伝子 $C_1 \sim C_{10}$ のそれぞれについて、目標軌道 $TWP_X(t)$ を使用して、制御系モデルの動作シミュレーションを行い、シミュレーション結果に基づいて、前記評価関数 F の値を計算する。

【 0 0 9 0 】

次に、ステップ208において、評価関数 F の値が小さなものほど優良であるとして、優良遺伝子を2つ選択する(図9の選択B:淘汰)。引き続き、ステップ209において、ステップ208における淘汰の結果として生き残った2の遺伝子で、遺伝子集団の中の親遺伝子 $PRT1$, $PRT2$ となった遺伝子を置き換える(世代交代)。そして、ステップ210において、世代交代が行われた遺伝子集団中で最も評価関数 F の小さな最良遺伝子を求める。

【 0 0 9 1 】

こうして、世代交代の処理が終了すると、処理がステップ203に移行し、新たな遺伝子集団を第2世代とする($t \leftarrow t + 1$)。次に、ステップ204におい

て、第 t_M 世代までの世代交代が行われたか否かが判定される。

【 0 0 9 2 】

以後、第 t_M 世代までの世代交代が行われるまで、上述のステップ 2 0 5 ~ 2 1 0 の世代交代の処理が行われる。そして、ステップ 2 0 4 において、第 t_M 世代までの世代交代が行われたと判定されると、遺伝的アルゴリズムによる演算処理を終了する。

【 0 0 9 3 】

こうして、第 t_M 世代における最良解を得ることにより、変数 ($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$) の最適解を求める。なお、上記で求めた最適解よりも評価関数 F の値が小さくなる解を求めたい場合には、上記の第 t_M 世代の遺伝子集団を初期集団として、前述の遺伝的アルゴリズムによる演算を行えばよい。これは、遺伝的アルゴリズムによる最適値の探索では、世代を重ねるごとに、最適化の度合いが上がることはあるが、下がることはないからである。

【 0 0 9 4 】

そして、制御系モデルを作成において見込まれる実際の制御系 $W C S_X$ からの種々のモデル化誤差に応じて、実際の制御系 $W C S_X$ におけるパラメータ ($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$) の最適値が存在すると考えられる、上記の制御系 $W C S_X$ の制御系モデルにおける最適解を含む範囲を決定する。こうして、制御系 $W C S_X$ の可変パラメータに関する前処理が終了すると、サブルーチン 1 1 1 の処理が終了し、図 5 のメインルーチン (ステップ 1 1 2) にリターンする。

【 0 0 9 5 】

次に、図 5 のステップ 1 1 2 において、制御装置 3 9 の指示に応じて、パラメータ最適化装置 3 1 が、上述の評価関数 F を制御系 $W C S_X$ の性能を評価するための評価関数として設定する。これは、最適化調整の目的が、評価関数 F で評価されるウエハステージ $W S T$ に対する位置制御性能を向上させることにあることは、上述の制御系モデルの場合と同様だからである。

【 0 0 9 6 】

なお、本実施形態では、制御系 $W C S_X$ における可変パラメータに関する最適化調整にあたっては、上述の制御系モデルと同様に遺伝的アルゴリズムを使用し

て、可変パラメータの最適値の探索を行っている。これは、制御系 $WC S_X$ を含む実際のウェハステージ WST の位置の制御系においても、上述の制御系モデルの場合と同様に、変換増幅率 $K P_X$ 、変換増幅率 $K V_X$ 、及び増幅率 $K F_X$ の値の変化に対する評価関数 F の値の変化について単峰性が保証されず、最適値の探索にあたって、大域的探索が必要となるからである。

【0097】

また、制御系 $WC S_X$ における可変パラメータの最適解に関する遺伝的アルゴリズムによる探索では、初期集団を第1世代とし、第 t_M' 世代（例えば、 t_M' は、数10～数100程度の値）までの世代交代を行わせることとしている。ここで、世代交代を行わせる世代数を、上述の制御系モデルの場合よりも少なく設定している。これは、制御系モデルの場合には、可変パラメータの値の範囲について限定のない状態で最適解の探索を行うのに対して、今回は、既に最適解が含まれると考えられる可変パラメータの値の範囲が上述のサブルーチン111において求められており、後述するように、かかる求められた可変パラメータの値の範囲内において最適解を探索するからである。

【0098】

次に、ステップ113において、パラメータ最適化装置31が、第0世代 ($t \leftarrow 0$) の段階であることを設定する。

【0099】

次いで、ステップ114において、パラメータ最適化装置31が、遺伝子集団の初期集団を生成する。この初期集団は、各変数 ($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$) の値を、上述のサブルーチン111において求められた各変数の値のそれぞれの範囲内からランダムに選択して特定の値としたものを1組の遺伝子として、複数組の遺伝子から構成される。ここでも、上述の本実施形態では、初期集団を40組の遺伝子から構成した。そして、初期集団の遺伝子それぞれに関する評価関数 F の値を求める。かかる各遺伝子に関する評価関数 F の値は、以下のようにして求められる。

【0100】

まず、パラメータ最適化装置31が、遺伝子の要素である各変数 ($K P_X$, K

V_X , $K F_X$) の値を最適値設定装置 32 に供給する。そして、最適値設定装置 32 が各変数 ($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$) の値をデータ WPD としてステージ制御装置 19 に供給することにより、制御系 $W C S_X$ における変換増幅率 $K P_X$ 、変換増幅率 $K V_X$ 、及び増幅率 $K F_X$ の値が設定される。

【0101】

引き続き、パラメータ最適化装置 31 が、ウエハ干渉計 18 により測定されたウエハステージ WST の位置情報の現在値から、性能評価用の目標軌道 $T W P_X(t)$ の初期(出発) X 位置 X_S と、この初期 X 位置 X_S に応じた目標 X 位置 X_E とを決定し、これらの値を軌道算出装置 36 に供給する。そして、初期 X 位置 X_S と終了 X 位置 X_E とを受けた軌道算出装置 36 は、上述の目標軌道算出の方法と同様の方法により、目標軌道 $T W P_X(t)$ を算出する。そして、軌道算出装置 36 は、算出された目標軌道 $T W P_X(t)$ の情報をデータ STD として、ステージ制御装置 19 (より詳しくは、目標軌道発生装置 41) に供給する。

【0102】

次に、ステージ制御装置 19 の目標軌道発生装置 41 が、受信したデータ STD に含まれた目標軌道 $T W P_X(t)$ の情報に基づいて目標軌道信号 $T W P_X(t)$ を発生して、制御系 $W C S_X$ に供給する。そして、制御系 $W C S_X$ が、供給された目標軌道信号 $T W P_X(t)$ を使用して、ウエハステージ WST の位置(移動制御)を行う。

【0103】

次いで、パラメータ最適化装置 31 は、ウエハ干渉計 18 から供給されたウエハステージ WST の位置情報を監視することにより、目標軌道 $T W P_X(t)$ を使用した、制御系 $W C S_X$ によるウエハステージ WST の位置制御終了時における、上述した目標 X 位置 X_E からの位置誤差 $|\Delta X|$ 及び制御終了位置に整定するまでの時間 T を求める。そして、評価関数 F の値を (1) 式を計算することにより求める。

【0104】

こうして、各遺伝子に関する評価関数 F の値が求められた後、ステップ 115 において、パラメータ最適化装置 31 が、上述の初期集団を第 1 世代とする (t

$\leftarrow t + 1$) 。

【 0 1 0 5 】

次に、ステップ 1 1 6 において、第 t_M' 世代までの世代交代が行われたか否かが判定される。ここでは、世代交代がまだ行われていないので、処理はサブルーチン 1 1 8 へ移行する。

【 0 1 0 6 】

サブルーチン 1 1 6 では、図 1 1 に示されるように、まず、図 8 のステップ 2 0 5 及びステップ 2 0 6 に対応するステップ 2 2 5 及びステップ 2 2 6 を実行する。これにより、上述した遺伝的アルゴリズムにおける選択 A 及び交叉が行われ、家族集合（図 9 参照）のメンバである親遺伝子 P R T 1, P R T 2 及び子遺伝子 C 1 ~ C 1 0 が求められる。

【 0 1 0 7 】

次に、ステップ 2 2 7 において、家族集合（図 9 参照）のメンバの内、子遺伝子 C 1 ~ C 1 0 のそれぞれについて、評価関数 F の値が求められる。こうした各子遺伝子 C 1 ~ C 1 0 のそれぞれに関する評価関数 F の値は、上述したステップ 1 1 4 における各遺伝子に関する評価関数 F の値と同様の方法によって求められる。

【 0 1 0 8 】

次いで、図 8 のステップ 2 0 8 及びステップ 2 0 9 に対応する図 1 1 のステップ 2 2 8 及びステップ 2 2 9 を実行する。これにより、上述した遺伝的アルゴリズムにおける選択 B（淘汰）及び世代交代（図 9 参照）が行われ、新世代の遺伝子集団が求められる。

【 0 1 0 9 】

そして、ステップ 2 3 0 において、世代交代が行われた新世代の遺伝子集団中で最も評価関数 F の小さな最良遺伝子が求められ、サブルーチン 1 1 8 の処理が終了し、図 5 のメインルーチンにリターンし、処理が図 5 のステップ 1 1 5 に移行する。

【 0 1 1 0 】

引き続き、ステップ 1 1 5 において、新たな遺伝子集団を第 2 世代とする (t

← $t+1$)。次に、ステップ116において、第 t_M' 世代までの世代交代が行われたか否かが判定される。

【0111】

以後、第 t_M' 世代までの世代交代が行われるまで、上述のステップ115～118の世代交代の処理が行われる。そして、ステップ116において、第 t_M' 世代までの世代交代が行われたと判定されると、遺伝的アルゴリズムによる演算処理を終了する。なお、上記で求めた最適解よりも評価関数 F の値が小さくなる解を求めたい場合には、上述した制御系モデルの場合と同様に、第 t_M' 世代の遺伝子集団を初期集団として、前述の遺伝的アルゴリズムによる演算を行えばよい。

【0112】

こうして、第 t_M' 世代における最良解を得ることにより、実際の制御系 $WC S_X$ におけるパラメータ($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$)の最適解を求められる。

【0113】

次に、ステップ119において、パラメータ最適化装置31が、求められた制御系 $WC S_X$ におけるパラメータ($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$)の最適解を最適値設定装置32に供給する。そして、最適値設定装置32が各パラメータ($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$)の最適値をデータ SPD としてステージ制御装置19に供給することにより、制御系 $WC S_X$ における変換増幅率 $K P_X$ 、変換増幅率 $K V_X$ 、及び増幅率 $K F_X$ の値が最適値に設定される。

【0114】

以上、制御系 $WC S_X$ におけるパラメータ($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$)の設定について説明したが、制御系 RCS 及び制御系 $WC S_Y$ についても、上述の制御系 $WC S_X$ の場合と同様にして、3種のパラメータが最適値に設定される。

【0115】

以上のようにして、制御系 RCS 、 $WC S_X$ 、 $WC S_Y$ が最適化された後、本実施形態の露光装置100は、次のようにして、露光動作を実行する。

【0116】

まず、不図示のレチクルローダにより、転写したいパターンが形成されたレチ

クルRがレチクルステージRSTにロードされる。このとき、レチクルステージRSTのローディングポジションへの移動制御は、上述のようにして最適化された制御系RCSによって行われる。

【0117】

上記のレチクルRのロードと相前後して、不図示のウエハローダにより、露光したいウエハWがウエハステージWSTにロードされる。このとき、ウエハステージWSTのローディングポジションへの移動制御は、上述のようにして最適化された制御系 WCS_x 、 WCS_y によって行われる。

【0118】

次に、主制御装置20により、不図示のレチクル顕微鏡、ウエハステージWST上の不図示の基準マーク板、不図示のアラインメント検出系を用いてレチクルアラインメント、ベースライン計測等の準備作業が所定の手順に従って行われた後、アラインメント検出系を用いてEGA（エンハンスト・グローバル・アラインメント）等のアラインメント計測が実行される。こうした動作において、レチクルステージRST又はウエハステージWSTの移動が必要な場合には、適宜、最適化された制御系RCS、 WCS_x 、 WCS_y による移動制御が行われる。こうしたのアラインメント計測の終了後、以下のようにしてステップ・アンド・スキャン方式の露光動作が行われる。

【0119】

この露光動作にあたって、まず、ウエハWのXY位置が、ウエハW上の最初のショット領域（ファースト・ショット）の露光のための走査開始位置となるように、ウエハステージWSTが移動される。この移動にあたっては、最適化された制御系 WCS_x 、 WCS_y による移動制御が行われる。同時に、レチクルRの位置が、走査開始位置となるように、レチクルステージRSTが移動される。この移動にあたっては、最適化された制御系RCSによる移動制御が行われる。

【0120】

そして、最適化された制御系RCSにより移動制御されるレチクルステージRSTと、最適化された制御系 WCS_x 、 WCS_y によって移動制御されるウエハステージとが同期移動することにより、レチクルRとウエハWとが同期移動する。

この同期移動とともに走査露光が行われる。

【 0 1 2 1 】

以上のように制御されながら行われる走査露光により、一つのショット領域に対するレチクルパターンの転写が終了すると、最適化された制御系 WCS_X , WCS_Y の制御のもとで、ウエハステージ WST が、次のショット領域の走査開始位置まで移動する。これと同時に、最適化された制御系 RCS の制御のもとで、レチクルステージ RST が、次のショット領域用の走査開始位置まで移動する。そして、上記の最初のショット領域の場合と同様にして走査露光が行われる。

【 0 1 2 2 】

このようにして、ウエハステージ WST の次のショット領域の走査開始位置への移動及びレチクルステージ RST の次のショット領域用の走査開始位置への移動と、走査露光とが順次繰り返され、ウエハ W 上に必要なショット数のパターンが転写される。

【 0 1 2 3 】

すなわち、本実施形態の露光装置では、露光のための動作にあたって、レチクルステージ RST 又はウエハステージ WST の位置決めが必要な場合には、上述のようにして最適化された制御系 RCS , WCS_X , WCS_Y によって、レチクルステージ RST 又はウエハステージ WST の位置制御がなされ、位置決めが行われる。

【 0 1 2 4 】

以上のように構成された、本実施形態の露光装置 100 によれば、レチクルステージ RST 及びウエハステージ WST の位置制御を行う制御系 RCS , WCS_X , WCS_Y の可変パラメータの値が、位置決め精度及び位置決め時間についての総合的性能について大域的に最適化されるように調整されるので、レチクルステージ RST 及びウエハステージ WST を精度良くかつ迅速に位置決めすることができる。したがって、レチクル R に形成されたパターンを、精度良くかつ迅速に、ウエハ W に転写することができる。

【 0 1 2 5 】

また、制御系 RCS , WCS_X , WCS_Y の可変パラメータの最適化にあたって

は、大域的な最適化に適した遺伝的アルゴリズムの手法を使用しているので、簡易かつ迅速に可変パラメータの最適値を求めることができる。

【0126】

また、実際の制御系 RCS , WCS_X , WCS_Y における可変パラメータの最適化に先立って、制御モデルを使用して、可変パラメータの設計最適値を求めるとともに、制御モデルと実際の制御系との相違を見込んで、実際の最適値が存在する可変パラメータの値の範囲を求めている。そして、この範囲内において可変パラメータの最適値を探索することとしている。このため、最終的に求められる最適値の精度を低下させず、かつ、実機による位置制御の試行の回数を抑制することにより迅速に最適値を求めることができる。

【0127】

《第2の実施形態》

次に、本発明の第2の実施形態を、図12～図15を参照して説明する。本実施形態における露光装置は第1の実施形態の露光装置100と同様の構成を有しており、制御系 RCS , WCS_X , WCS_Y の可変パラメータの最適化にあたって使用される遺伝的アルゴリズムの手法が相違することに伴い、採用される評価関数、並びにサブルーチン124及びサブルーチン118における処理のみが相違する。そこで、かかる相違点に主に着目して、以下説明する。なお、本実施形態の説明にあたって、第1の実施形態と同一又は同等の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0128】

本実施形態では、各制御系 RCS , WCS_X , WCS_Y の性能の評価のために、位置制御性能に関する前述の評価関数 F と、各制御系 RCS , WCS_X , WCS_Y における可変パラメータの和で定義される評価関数 G とを採用している。例えば、制御系 WCS_X においては、評価関数 G は、

$$G = K P_X + K V_X + K F_X \quad \dots (4)$$

となる。ここで、評価関数 F と評価関数 G とは、可変パラメータの値の変化に対して互いにほぼ独立に変化するものであるが、評価関数 F の値が小さくなると評価関数 G の値が大きくなる傾向がみられ、一方、評価関数 F の値が大きくなると

評価関数 G の値が小さくなる傾向がみられるものである。

【0129】

そして、本実施形態では、評価関数 F 及び評価関数 G の双方をなるべく小さな値とする多目的最適化を、遺伝的アルゴリズムを用いて非パレート解淘汰戦略を用いて、パレート最適解を求めることにより行うこととしている。ここで、パレート解とは、他の全ての解に対して、少なくとも1つの評価基準において優れている解をいう。すなわち、本実施形態におけるパレート解とは、評価関数 F 及び評価関数 G の少なくとも一方の値が、他の遺伝子の場合よりも小さくなっている遺伝子をいう。なお、非パレート解淘汰戦略の一般的な内容については、「小林重信、吉田幸司、山村雅幸：GAによるパレート最適な設定木集合の合成、人工知能学会誌、vol.11, No.5, pp.778-785(1996)」に記載されている。

【0130】

次に、本実施形態におけるレチクルステージ RST 及びウエハステージ WST の位置制御の制御系 RCS , WCS_X , WCS_Y の調整、すなわち、制御パラメータの最適化調整を、まず、制御系 WCS_X について説明する。かかる制御系 WCS_X の調整においては、第1の実施形態と同様に、設定可能な制御パラメータである変換増幅率 KP_X 、変換増幅率 KV_X 、及び増幅率 KF_X の値が最適化される。

【0131】

かかる最適化にあたって、まず、図5のサブルーチン111において、変換増幅率 KP_X 、変換増幅率 KV_X 、及び増幅率 KF_X に関する前処理が行われる。この前処理は、変換増幅率 KP_X 、変換増幅率 KV_X 、及び増幅率 KF_X の最適値が存在する範囲を求めるために行われる。

【0132】

サブルーチン111では、まず、図6のステップ121において、第1の実施形態の場合と同様にして、図4に示された制御系 WCS_X に応じた制御系モデルを作成する。次に、ステップ122において、制御系 WCS_X の性能を評価するための複数の評価関数をとって、上述の評価関数 F 及び評価関数 G を設定する。次いで、ステップ123において、第1の実施形態の場合と同様にして、制御系

モデルの位置制御性能評価に使用する目標軌道 $TWP_X(t)$ を求める。

【0133】

次に、サブルーチン 124 において、以上のようにして求められた目標軌道 $TWP_X(t)$ が、ステップ 121 で作成した制御系モデルに入力されるとして、評価関数 F 及び評価関数 G を最小化する変換増幅率 KP_X 、変換増幅率 KV_X 、及び増幅率 KF_X の値、すなわち最適解を求める。なお、本実施形態では、上述した遺伝的アルゴリズムを使用した非パレート解淘汰戦略の手法を用いて、パレート最適解を探索し、その探索結果から最適解を得ることになっている。以下、サブルーチン 124 の処理である変数 (KP_X , KV_X , KF_X) のパレート最適解の探索について、図 12 のフローチャートに沿って、初期の遺伝子集団がパレート最適解を含む遺伝子集団に変遷していく過程が模式的に示された図 13 を適宜参照しながら説明する。なお、本実施形態においても、初期集団を第 1 世代とし、第 t_M 世代（例えば、 $t_M = 100000$ ）までの世代交代を行わせることとしている。

【0134】

まず、図 8 のステップ 241 において、第 0 世代 ($t \leftarrow 0$) の段階であることを設定する。次に、ステップ 242 において、遺伝子集団の初期集団を生成する。この初期集団は、各変数 (KP_X , KV_X , KF_X) をそれぞれランダムに特定の値としたものを 1 組の遺伝子として、複数組の遺伝子から構成される。本実施形態においても、第 1 の実施形態と同様に、初期集団を 40 組の遺伝子から構成した。そして、初期集団の各遺伝子について、第 1 の実施形態において説明した評価関数 F の算出方法と同様に、目標軌道 $TWP_X(t)$ を使用して、制御系モデルの動作シミュレーションを行い、シミュレーション結果に基づいて評価関数 F の値を求めるとともに、各遺伝子の変数 (KP_X , KV_X , KF_X) の値から評価関数 G の値を (4) 式により算出する。こうして求められた各遺伝子の評価関数 F の値及び評価関数 G の値を FG 座標系上の座標位置で表したものが、図 13 の（親：紙面左下）において○によって示されている。そして、ステップ 243 において、上述の初期集団を第 1 世代とする ($t \leftarrow t + 1$)。

【0135】

次に、ステップ244において、第 t_M 世代までの世代交代が行われたか否かが判定される。ここでは、世代交代がまだ行われていないので、処理はステップ245へ移行する。このステップ245では、母集団である遺伝子集団からランダムに3個の親遺伝子PRT1, PRT2, PRT3を選択（図13における選択A）する。そして、ステップ246において、これらの親遺伝子PRT1, PRT2, PRT3から例えば8個の子遺伝子C1～C8を、第1の実施形態と同様の交叉によって生成する。

【0136】

次いで、ステップ247において、子遺伝子C1～C8のそれぞれについて、目標軌道 $TWP_X(t)$ を使用して制御系モデルの動作シミュレーションを行い、シミュレーション結果に基づいて前記評価関数Fの値を計算するとともに、各子遺伝子C1～C8の変数(KP_X, KV_X, KF_X)の値から評価関数Gの値を（4）式により算出する。こうして求められた各子遺伝子の評価関数Fの値及び評価関数Gの値をFG座標系上の座標位置で表したものが、図13の（子：紙面上方）において●として示されている。

【0137】

次に、ステップ248において、第 t 世代の遺伝子集団と子遺伝子C1～C8の遺伝子集団とを合わせた集団（図13の（親+子）：紙面下方の中央部）から非パレート解を選択する。すなわち、（親+子）の遺伝子集団の中から、評価関数Fの値がほぼ同一の集団の中から評価関数Gの値が最も小さいもの以外のものを選択するとともに、評価関数Gの値がほぼ同一の集団の中から評価関数Fの値が最も小さいもの以外のものを選択する。引き続き、ステップ249において、（親+子）の遺伝子集団から非パレート解であった遺伝子を除去することにより、パレート解のみを選択（図13の選択B（淘汰））する。こうして、その時点でのパレート解のみからなる新世代の遺伝子集団を得る。こうして得られた新世代（第 $(t+1)$ 世代）の遺伝子集団における各遺伝子の評価関数Fの値及び評価関数Gの値をFG座標系上の座標位置で表したものが、図13の（新世代：紙面右下）に示されている。

【0138】

こうして、世代交代の処理が終了すると、処理がステップ243に移行し、新たな遺伝子集団を第2世代とする($t \leftarrow t+1$)。次に、ステップ244において、第 t_M 世代までの世代交代が行われたか否かが判定される。

【0139】

以後、第 t_M 世代までの世代交代が行われるまで、上述のステップ245～249の世代交代の処理が行われる。そして、ステップ244において、第 t_M 世代までの世代交代が行われたと判定されると、遺伝的アルゴリズムによる演算処理を終了する。

【0140】

こうして、第 t_M 世代におけるパレート解の集合を得ることにより、変数($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$)の最良パレート解の集合を求める。こうして求められた最良パレート解の集合の各要素の評価関数Fの値及び評価関数Gの値をFG座標系上の座標位置で表したものが、図14に示されている。こうした、パレート最適解の集合は表示装置21に表示され、パレート最適解に関する情報が、設計者や調整者に提供される。

【0141】

設計者や調整者は、提供された最良パレート解に関する情報に基づいて、評価関数Fの値と評価関数Gとのトレードオフ比を決定し、決定したトレードオフ比を入力装置22を操作して、主制御装置20(より詳しくはパラメータ最適化装置31)に入力する。引き続き、パラメータ最適化装置31は、指定されたトレードオフ比となるパレート最適解に特定し、その特定されたパレート最適解の遺伝子の変数($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$)の値を制御系モデルにおける最適値として求める。

【0142】

そして、制御系モデルの作成において見込まれる実際の制御系 $W C S_X$ からの種々のモデル化誤差に応じて、実際の制御系 $W C S_X$ におけるパラメータ($K P_X$, $K V_X$, $K F_X$)の最適値が存在すると考えられる、上記の制御系 $W C S_X$ の制御系モデルにおける最適解を含む範囲を決定する。こうして、制御系 $W C S_X$ の可変パラメータに関する前処理が終了すると、サブルーチン111の処理が終了

し、図5のメインルーチン（ステップ112）にリターンする。

【0143】

次に、図5のステップ112において、制御装置39の指示に応じて、パラメータ最適化装置31が、上述の評価関数F及び評価関数Gを制御系 $WC S_X$ の性能を評価するための評価関数として設定する。これは、最適化調整の目的が、評価関数Fで評価されるウエハステージWSTに対する位置制御性能を向上させることにあることは、上述の制御系モデルの場合と同様だからである。

【0144】

なお、本実施形態では、制御系 $WC S_X$ における可変パラメータに関する最適化調整にあたっては、上述の制御系モデルと同様に遺伝的アルゴリズムによる非パレート解淘汰戦略を使用して、可変パラメータの最適値の探索を行っている。また、制御系 $WC S_X$ における可変パラメータの最適解に関する遺伝的アルゴリズムによる探索では、第1の実施形態の場合と同様の理由により、初期集団を第1世代とし、第 t_M' 世代（例えば、 t_M' は、数10～数100程度の値）までの世代交代を行わせることとしている。

【0145】

次いで、ステップ113において、パラメータ最適化装置31が、第0世代（ $t \leftarrow 0$ ）の段階であることを設定し、ステップ114において、第1の実施形態と同様の方法により、パラメータ最適化装置が、遺伝子集団の初期集団を生成する。この初期集団は、各変数（ $K P_X$, $K V_X$, $K F_X$ ）の値を、上述のサブルーチン111において求められた各変数の値のそれぞれの範囲内からランダムに選択して特定の値としたものを1組の遺伝子として、複数組の遺伝子から構成される。そして、初期集団の遺伝子それぞれに関する評価関数Fの値を求める。かかる各遺伝子に関する評価関数Fの値を第1の実施形態と同様にして求めるとともに、各遺伝子に関する評価関数Gの値を、（4）式を使用して求める。

【0146】

こうして、各遺伝子に関する評価関数F及び評価関数Gの値が求められた後、ステップ115において、パラメータ最適化装置31が、上述の初期集団を第1世代とする（ $t \leftarrow t + 1$ ）。

【0147】

次に、ステップ116において、第 t_M' 世代までの世代交代が行われたか否かが判定される。ここでは、世代交代がまだ行われていないので、処理はサブルーチン118へ移行する。

【0148】

サブルーチン118では、図15に示されるように、まず、図12のステップ245及びステップ246に対応するステップ255及びステップ256を実行する。これにより、上述した遺伝的アルゴリズムにおける選択A及び交叉が行われ、家族集合（図13参照）のメンバである親遺伝子PRT1, PRT2及び子遺伝子C1～C8が求められる。

【0149】

次に、ステップ257において、家族集合のメンバの内、子遺伝子C1～C10のそれぞれについて、評価関数F及び評価関数Gの値が求められる。こうした各子遺伝子C1～C8のそれぞれに関する評価関数Fの値は、上述したステップ114における各遺伝子に関する評価関数Fの値と同様の方法によって求められる。また、評価関数Gの値は（4）式によって求められる。

【0150】

次いで、図12のステップ248及びステップ249に対応する図15のステップ258及びステップ259を実行する。これにより、上述した遺伝的アルゴリズムにおける選択B（淘汰）及び世代交代（図13参照）が行われ、新世代の遺伝子集団が求められる。そして、サブルーチン118の処理が終了し、図5のメインルーチンにリターンし、処理が図5のステップ115に移行する。

【0151】

引き続き、ステップ115において、新たな遺伝子集団を第2世代とする（ $t \leftarrow t+1$ ）。次に、ステップ116において、第 t_M' 世代までの世代交代が行われたか否かが判定される。

【0152】

以後、第 t_M' 世代までの世代交代が行われるまで、上述のステップ115～118の世代交代の処理が行われる。そして、ステップ116において、第 t_M

世代までの世代交代が行われたと判定されると、遺伝的アルゴリズムによる演算処理を終了する。

【0153】

こうして、第 t_M' 世代におけるパレート解の集合を得ることにより、実際の制御系 WCS_X における可変パラメータ(KP_X , KV_X , KF_X)の最良パレート解の集合を求め、表示装置21に表示する。これにより、パレート最適解に関する情報が、設計者や調整者に提供される。

【0154】

設計者や調整者は、提供された最良パレート解に関する情報に基づいて、評価関数 F の値と評価関数 G とのトレードオフ比を決定し、決定したトレードオフ比を入力装置22を操作して、主制御装置20（より詳しくはパラメータ最適化装置31）に入力する。引き続き、パラメータ最適化装置31は、指定されたトレードオフ比となるパレート最適解に特定し、その特定されたパレート最適解の遺伝子の変数(KP_X , KV_X , KF_X)の値を制御系 WCS_X における最適値として求める。

【0155】

次に、ステップ119において、パラメータ最適化装置31が、求められた制御系 WCS_X におけるパラメータ(KP_X , KV_X , KF_X)の最適解を最適値設定装置32に供給する。そして、最適値設定装置32が各パラメータ(KP_X , KV_X , KF_X)の最適値をデータ WPD としてステージ制御装置19に供給することにより、制御系 WCS_X における変換増幅率 KP_X 、変換増幅率 KV_X 、及び増幅率 KF_X の値が最適値に設定される。

【0156】

以上、制御系 WCS_X におけるパラメータ(KP_X , KV_X , KF_X)の多目的最適化について説明したが、制御系 RCS 及び制御系 WCS_Y についても、上述の制御系 WCS_X の場合と同様にして、3種のパラメータが多目的最適化される。

【0157】

以上のようにして、制御系 RCS , WCS_X , WCS_Y が多目的最適化された後、本実施形態の露光装置100は、第1の実施形態と同様にして、露光動作を実

行する。すなわち、本実施形態の露光装置では、露光のための動作にあたって、
レチクルステージRST又はウエハステージWSTの位置決めが必要な場合には、
上述のようにして多目的最適化された制御系RCS, WCS_X , WCS_Y によっ
て、レチクルステージRST又はウエハステージWSTの位置制御がなされ、位
置決めが行われる。

【0158】

以上のように構成された、本実施形態の露光装置100によれば、レチクルス
テージRST及びウエハステージWSTの位置制御を行う制御系RCS, WCS_X , WCS_Y の可変パラメータの値が、位置決め精度及び位置決め時間、並びに可
変増幅率の総和についての総合的性能について大域的に最適化されるように調整
されるので、レチクルステージRST及びウエハステージWSTを精度良く、迅
速かつ効率良く位置決めすることができる。したがって、レチクルRに形成され
たパターンを、精度良く、迅速かつ効率良くウエハWに転写することができる。

【0159】

また、制御系RCS, WCS_X , WCS_Y の可変パラメータの最適化にあたって
は、大域的な最適化に適した遺伝的アルゴリズムの手法を使用しているので、簡
易かつ迅速に可変パラメータの最適値を求めることができる。

【0160】

また、実際の制御系RCS, WCS_X , WCS_Y における可変パラメータの多目
的最適化に先立って、制御モデルを使用して、可変パラメータの設計最適値を求
めるとともに、制御モデルと実際の制御系との相違を見込んで、実際の最適値が
存在する可変パラメータの値の範囲を求めている。そして、この範囲内において
可変パラメータの最適値を探索することとしている。このため、最終的に求めら
れる最適値の精度を低下させず、かつ、実機による位置制御の試行の回数を抑制
することにより迅速に多目的最適値を求めることができる。

【0161】

なお、上記の第1及び第2の実施形態では、制御系モデルにおけるパラメータ
の最適値の算出を、パラメータ値の最適化調整の直前に行うこととしたが、制御
系RCS, WCS_X , WCS_Y の設計段階に行ってもよい。さらには、設計段階に

において、こうした最適化設計を行って製作された制御系を、露光装置に実装することも可能である。

【0162】

また、性能を評価するための評価関数を、上述の評価関数 F （及び評価関数 G ）としたが、他の評価関数を採用することも可能である。例えば、評価関数 F に代えて、

$$F' = |\Delta X| \cdot T \quad \dots (3)$$

で定義される評価関数 F' を採用してもよい。かかる場合においても、評価関数 F' の最小化を図ることにより、位置決め精度と位置決めの迅速性との総合的な向上を図ることができる。また、位置決め精度や位置決めの迅速性以外の性能に着目した評価関数を採用してもよい。こうした評価関数 F に関する変形と同様の変形を評価関数 G に適用することが可能なのは勿論である。

【0163】

なお、本発明は、ステップ・アンド・リピート機、ステップ・アンド・スキャン機、ステップ・アンド・スティッチング機を問わず、また、ウエハ露光装置、液晶露光装置等の露光装置のステージ制御系に適用することができる。また、露光装置以外の検査装置等のステージ制御系にも適用することができる。

【0164】

さらに、本発明は、ステージ制御系以外の制御系であって、設定可能なパラメータ値の変化に対して所定の性能に応じた評価関数の単峰性が保証されない制御系の最適化設計又は最適化調整に適用することができる。また、ステージ制御系以外の制御系であって、複数の性能に着目する場合における制御系の多目的最適化設計又は多目的最適化調整に適用することができる。

【0165】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明の第1の制御系の設計方法によれば、制御系の設計段階で想定した制御系モデルにおいて、その制御系モデルが有する少なくとも1つの連続値パラメータの変化に対して、制御系の性能の評価基準となる評価関数の変化が単峰性が保証されていない場合であっても、当該評価関数に

関し、連続値パラメータについて大域的な最適化を行って、最適解を求めるので、当該連続値パラメータについて、大域的に最適化されたパラメータ値を求めることができる。したがって、着目した性能の向上について最適化された制御系を設計することができる。

【 0 1 6 6 】

また、本発明の第 2 の制御系の設計方法によれば、制御系としての性能評価の基準が、制御系モデルが有する少なくとも 1 つの連続値パラメータの変化に対して互いに独立に変化する複数の評価関数であっても、当該複数の評価関数に関し、同時に最適化するべく連続値パラメータについて多目的最適化を行って、最適解を求める。したがって、着目した複数の性能の向上について最適化された制御系を設計することができる。

【 0 1 6 7 】

また、本発明の制御系によれば、本発明の第 1 又は第 2 の制御系の設計方法により、所望の性能について制御系モデルにおける設計パラメータの値が最適化されているので、当該所望の性能を向上しつつ、制御対象を制御することができる。

【 0 1 6 8 】

また、本発明の第 1 の制御系の調整方法によれば、実際の制御系において、その制御系が有する少なくとも 1 つの連続値パラメータの変化に対して、制御系の性能の評価基準となる評価関数の変化が単峰性が保証されていない場合であっても、当該評価関数に関し、連続値パラメータについて大域的な最適化を行って、最適解を求めるので、当該連続値パラメータについて、大域的に最適化されたパラメータ値を求めることができる。したがって、着目した性能の向上について最適化された制御系に調整することができる。

【 0 1 6 9 】

また、本発明の第 2 の制御系の調整方法によれば、本発明の第 1 の制御系の設計方法によって設計された制御系について、該制御系における連続パラメータの最適解の探索範囲である連続値パラメータの可変範囲を、制御系モデルと実際の制御系との間で生じ得る相違に応じた、設計最適値を含む所定の範囲に限定する

。そして、かかる探索範囲において評価関数の値を最適化する連続値パラメータの値を求め、求められた連続値パラメータの値を、制御系の連続値パラメータの値として設定するので、迅速に実際の制御系における連続値パラメータの最適解を求めることができるので、迅速に所望の性能について、制御系を最適化調整することができる。

【 0 1 7 0 】

本発明の第 3 の制御系の調整方法によれば、本発明の第 2 の制御系の設計方法によって設計された制御系について、該制御系における連続パラメータの最適解の探索範囲である連続値パラメータの可変範囲を、制御系モデルと実際の制御系との間で生じ得る相違に応じた、設計最適値を含む所定の範囲に限定する。そして、かかる探索範囲において評価関数の値を最適化する連続値パラメータの値を求め、求められた連続値パラメータの値を、制御系の連続値パラメータの値として設定するので、迅速に実際の制御系における連続値パラメータの最適解を求めることができ、迅速に所望の性能について、制御系を最適化調整することができる。

【 0 1 7 1 】

また、本発明の第 4 の制御系の調整方法によれば、本発明の第 2 の制御系の設計方法によって設計された制御系について、該制御系における連続パラメータの最適解の探索範囲である連続値パラメータの可変範囲を、制御系モデルと実際の制御系との間で生じ得る相違に応じた、設計最適値を含む所定の範囲に限定する。そして、かかる探索範囲において評価関数の値を最適化する連続値パラメータの値を求め、求められた連続値パラメータの値を、制御系の連続値パラメータの値として設定するので、迅速に実際の制御系における連続値パラメータの最適解を求めることができ、迅速に所望の性能について、制御系を最適化調整することができる。

【 0 1 7 2 】

また、本発明の第 1 の露光方法によれば、露光にあたって移動が必要な物体の移動制御を行う制御系として、所望の移動性能についてほぼ最適化された本発明の制御系を使用する。したがって、迅速性と高精度との調和をとって露光を行う

ことが可能となる。

【 0 1 7 3 】

また、本発明の第 2 の露光方法によれば、露光にあたって移動が必要な物体の移動制御を行う制御系が、本発明の制御系の調整方法によって、所望の性能について最適化調整される。したがって、迅速性と高精度との調和をとって露光を行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 の実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】

図 1 の主制御装置の構成を概略的に示すブロック図である。

【図 3】

図 1 のステージ制御装置の構成を概略的に示すブロック図である。

【図 4】

図 1 の露光装置におけるステージ制御系の構成例を示すブロック線図である。

【図 5】

第 1 の実施形態におけるステージ制御系の可変パラメータを最適化するための処理を説明するためのフローチャートである。

【図 6】

第 1 の実施形態におけるステージ制御系の制御モデルにおける可変パラメータを最適化するための処理を説明するためのフローチャートである。

【図 7】

図 7 (A) 及び図 7 (B) は、性能評価のために、ステージ制御系に供給される目標軌道を説明するための図である。

【図 8】

遺伝的アルゴリズムによる制御モデルの可変パラメータを最適値探索の処理を説明するためのフローチャートである。

【図 9】

遺伝的アルゴリズムにおける世代交代を模式的に表す図である。

【図 10】

図 10 (A) ~ 図 10 (F) は、遺伝的アルゴリズムにおける交叉を説明するための図である。

【図 11】

第 1 の実施形態におけるステージ制御系の可変パラメータを最適化するための処理を説明するためのフローチャートである。

【図 12】

第 2 の実施形態におけるステージ制御系の可変パラメータを最適化するための処理を説明するためのフローチャートである。

【図 13】

遺伝的アルゴリズムによる非パレート解淘汰戦略における世代交代を模式的に表す図である。

【図 14】

パレート最適解の例を示すグラフである。

【図 15】

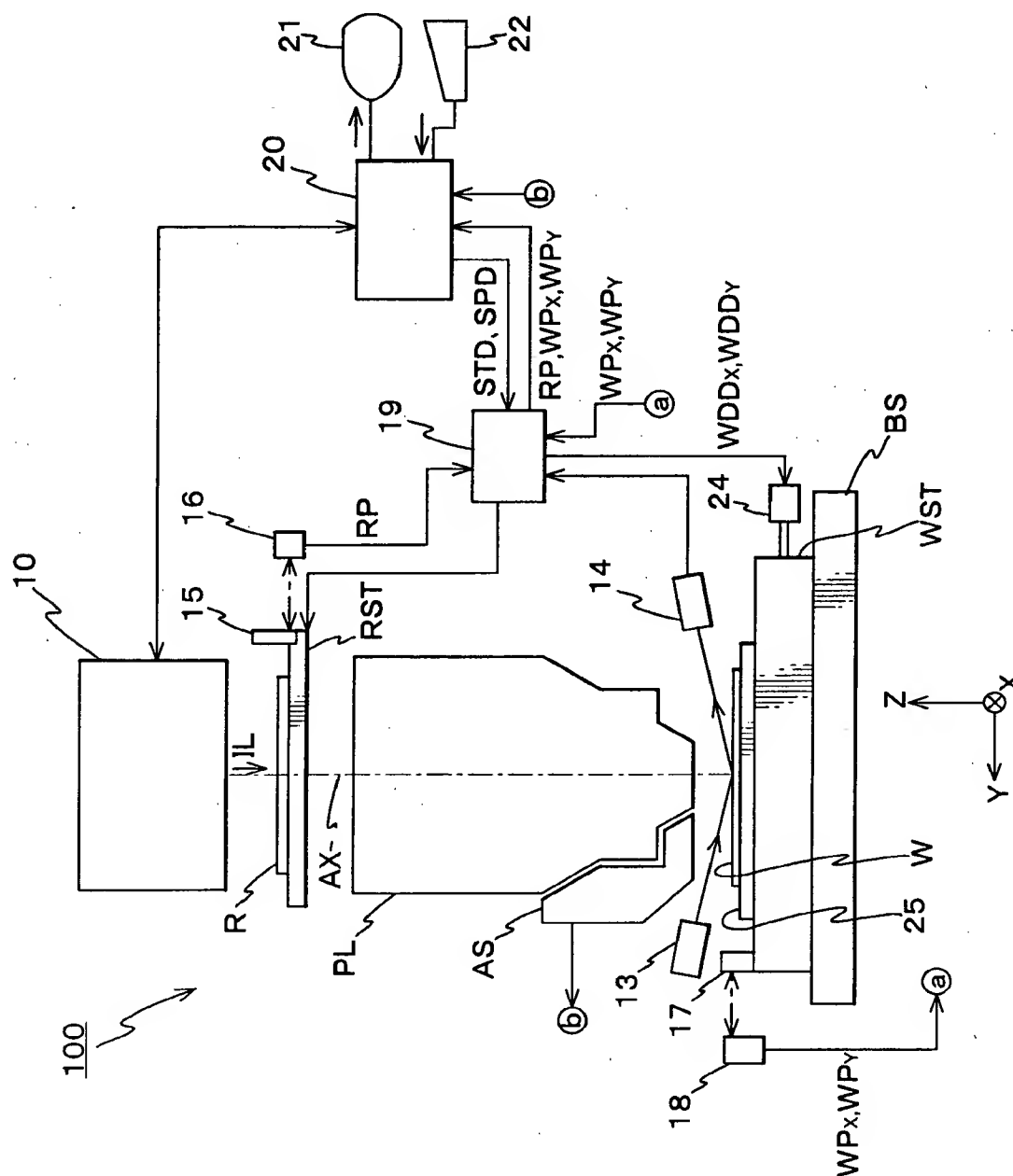
第 2 の実施形態におけるステージ制御系の可変パラメータを最適化するための処理を説明するためのフローチャートである。

【符号の説明】

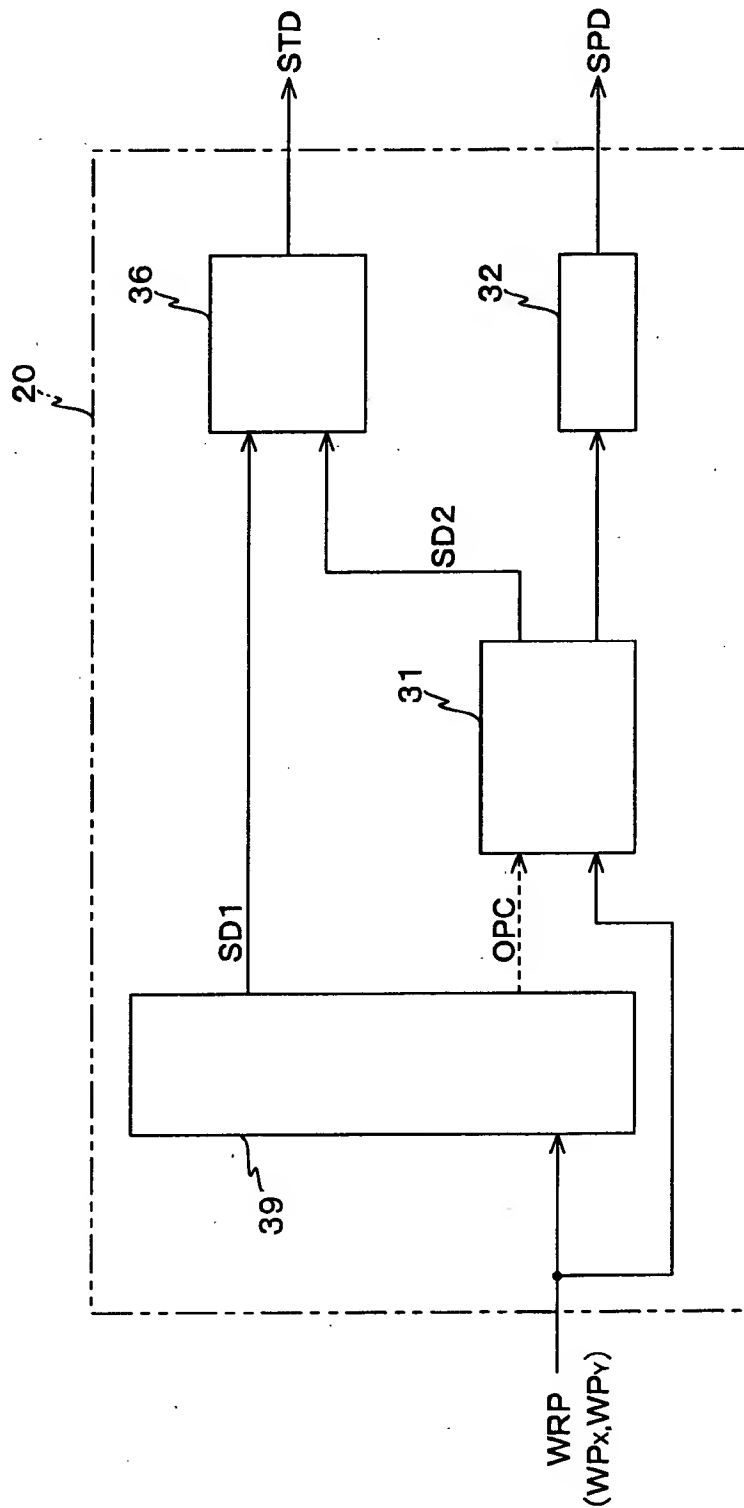
W…ウエハ（物体、基板）、 $WC S_X$ …ウエハステージ X 位置制御系（制御系、ステージ制御系）、 WST …ウエハステージ（制御対象、ステージ）

【書類名】 図面

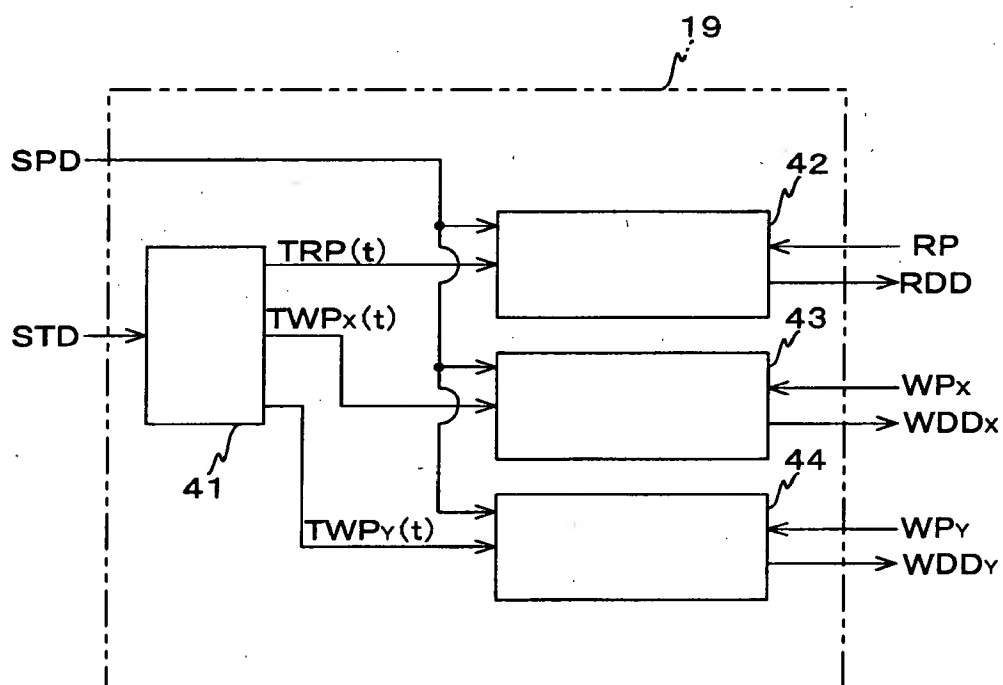
【図 1】



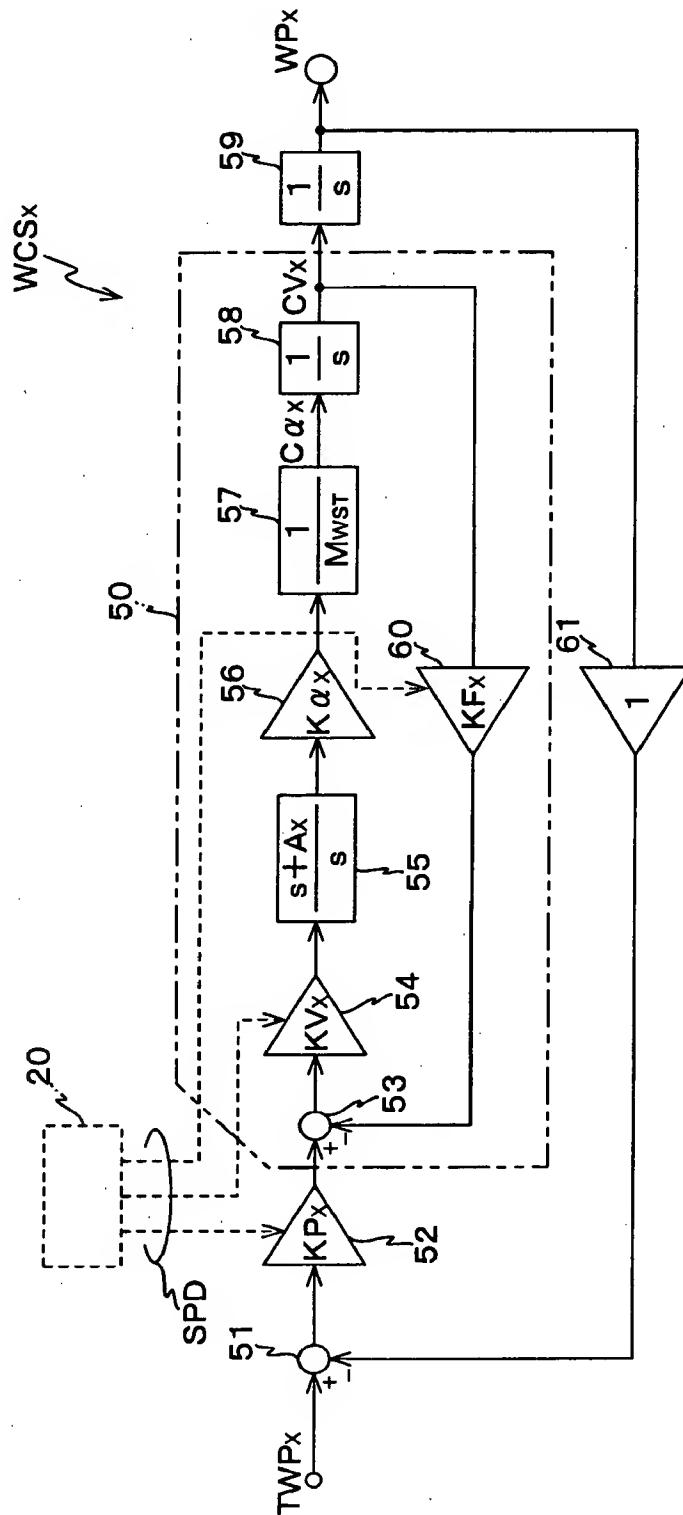
【図 2】



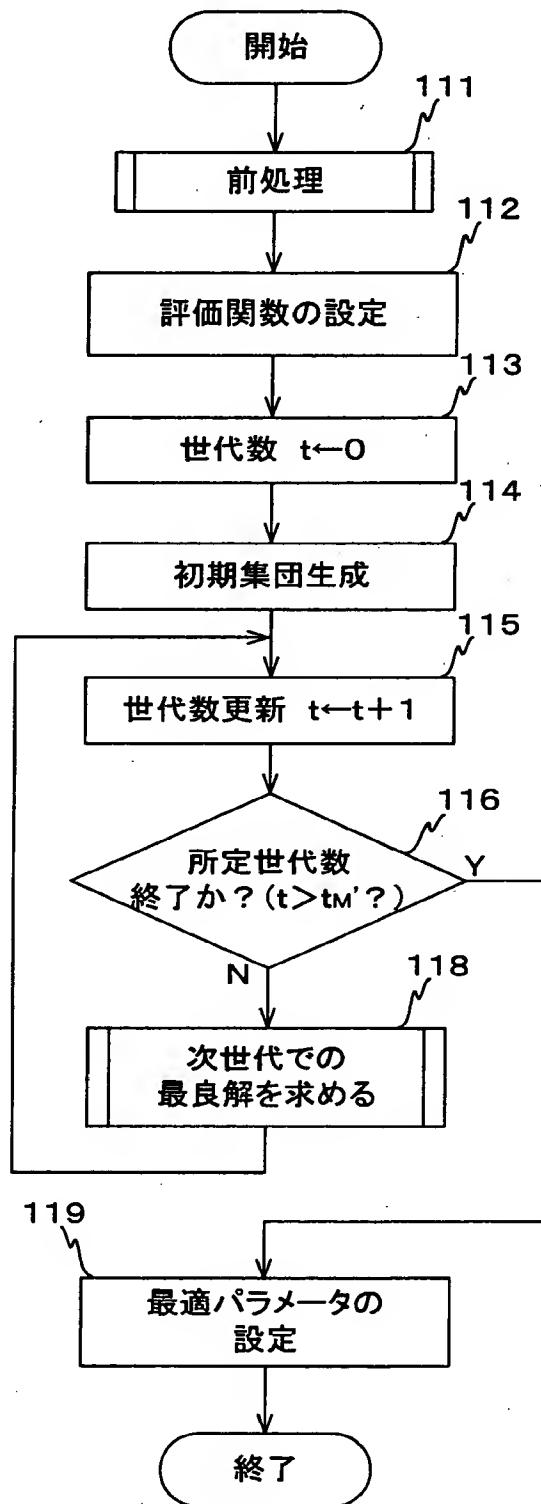
【図 3】



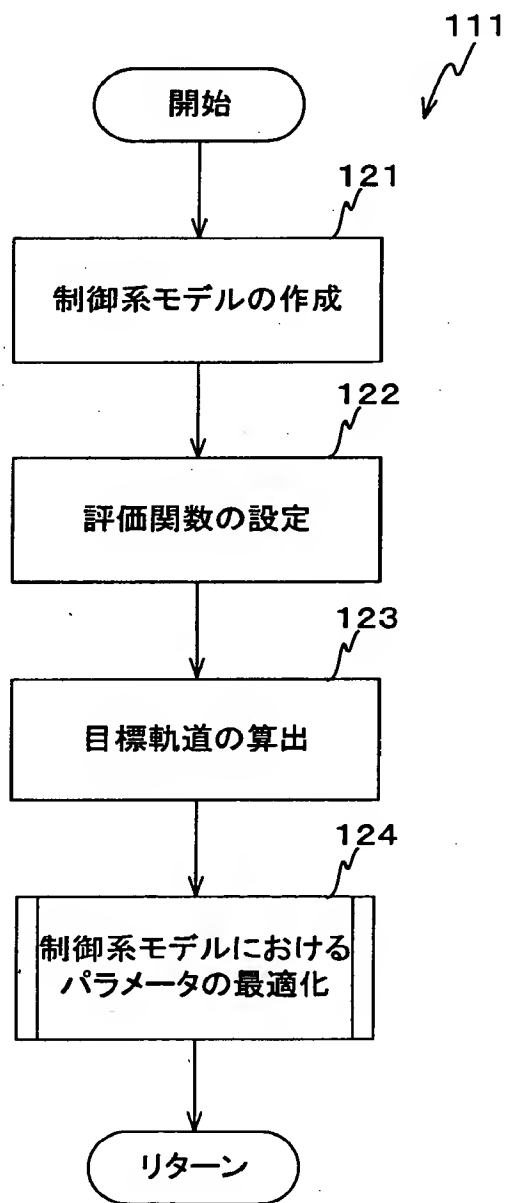
【図 4】



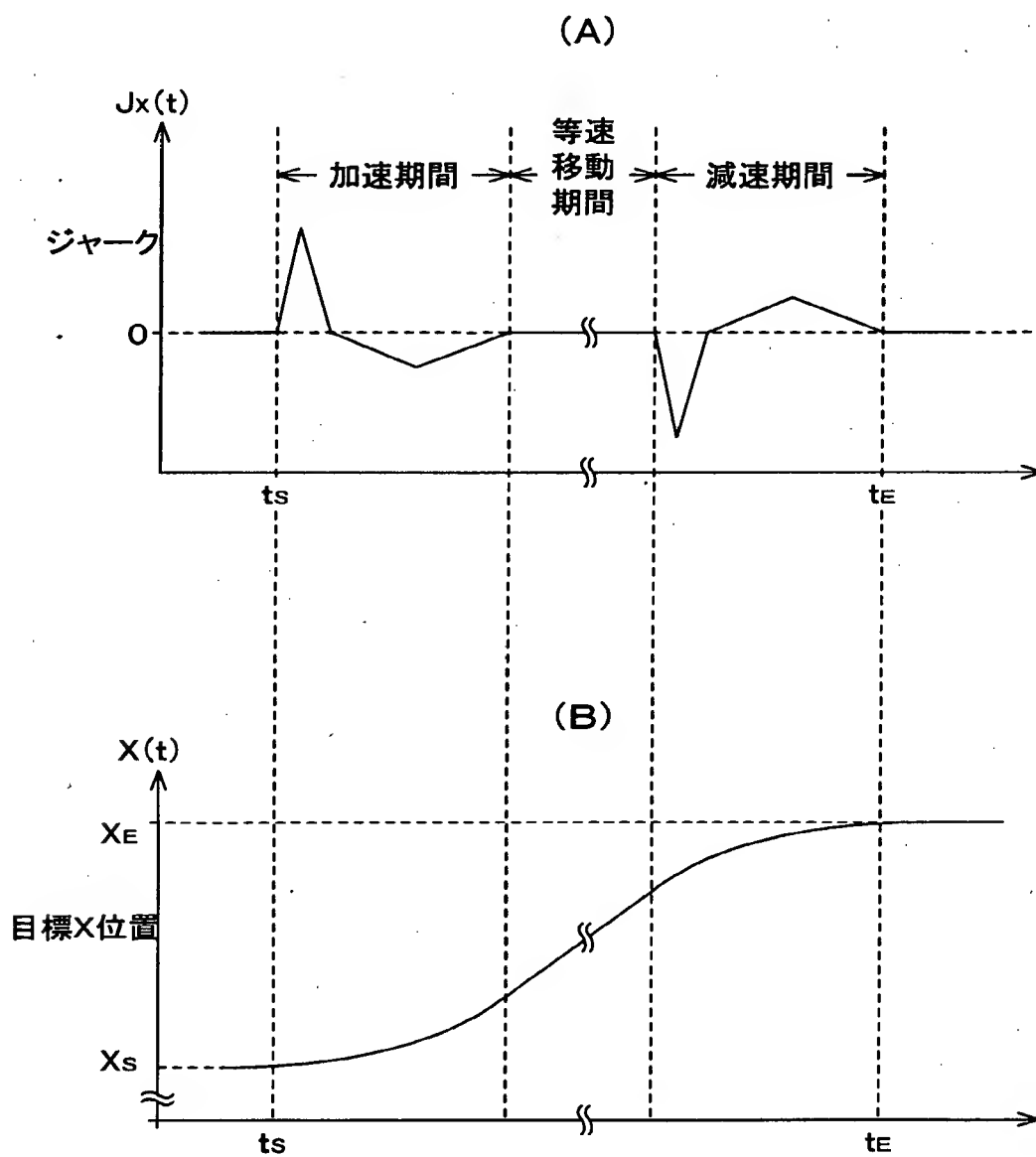
【図 5】



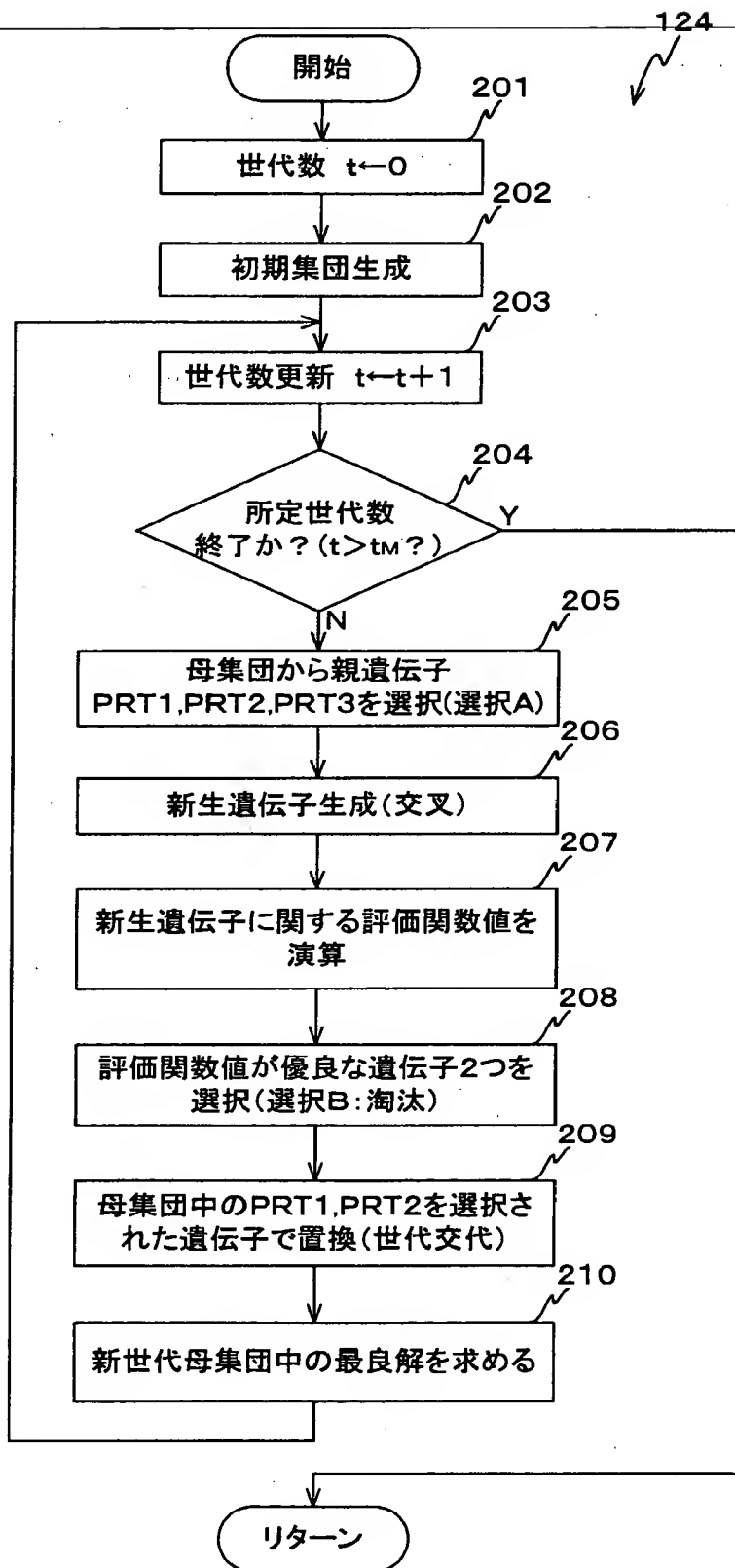
【図 6】



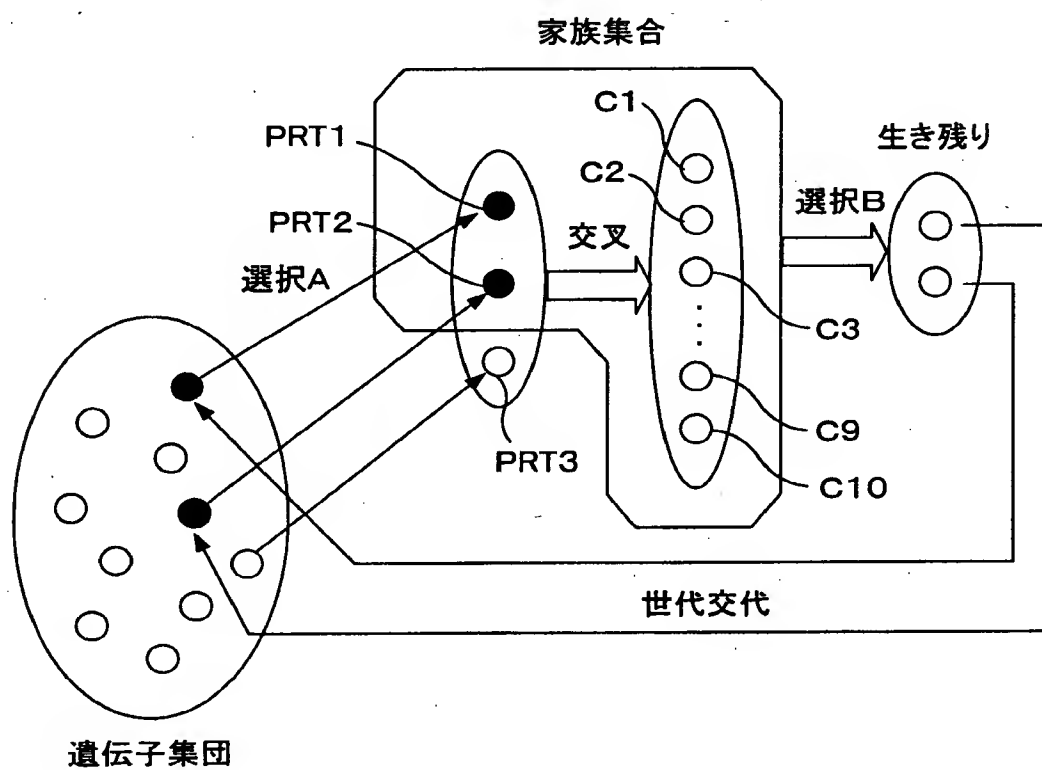
【図7】



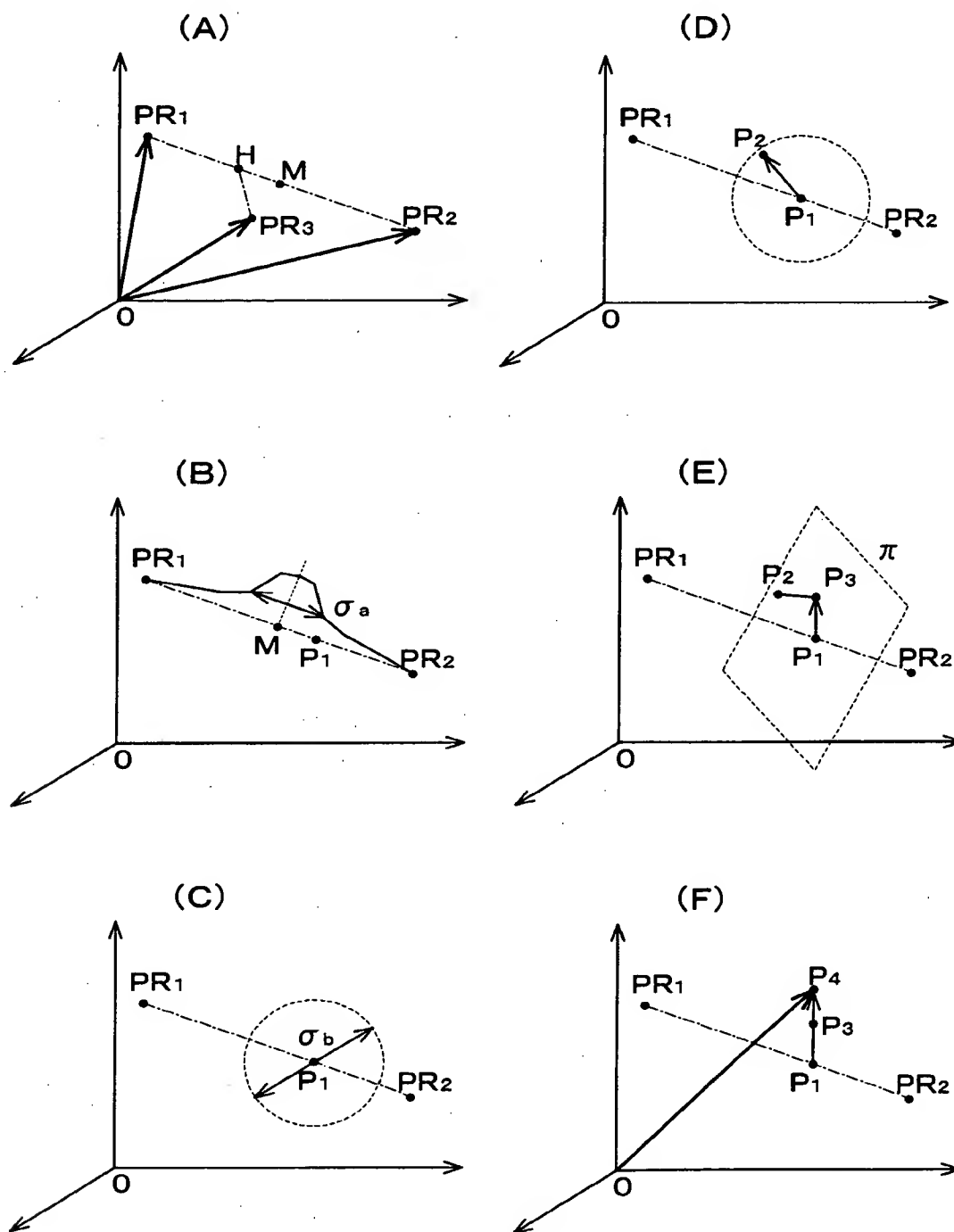
【図 8】



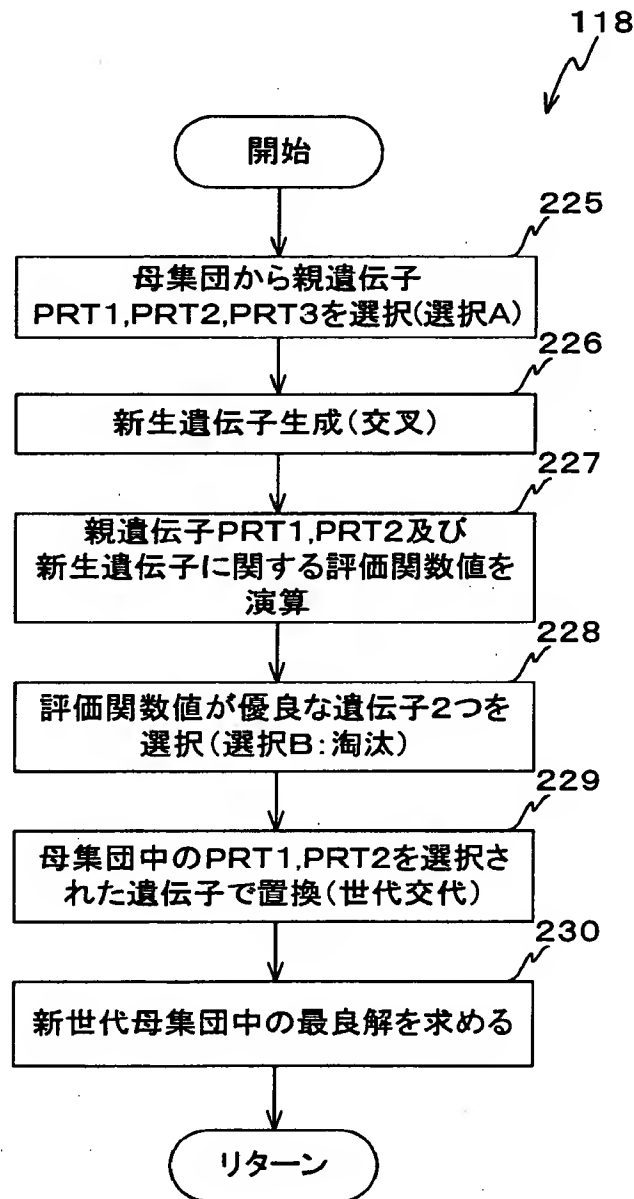
【図9】



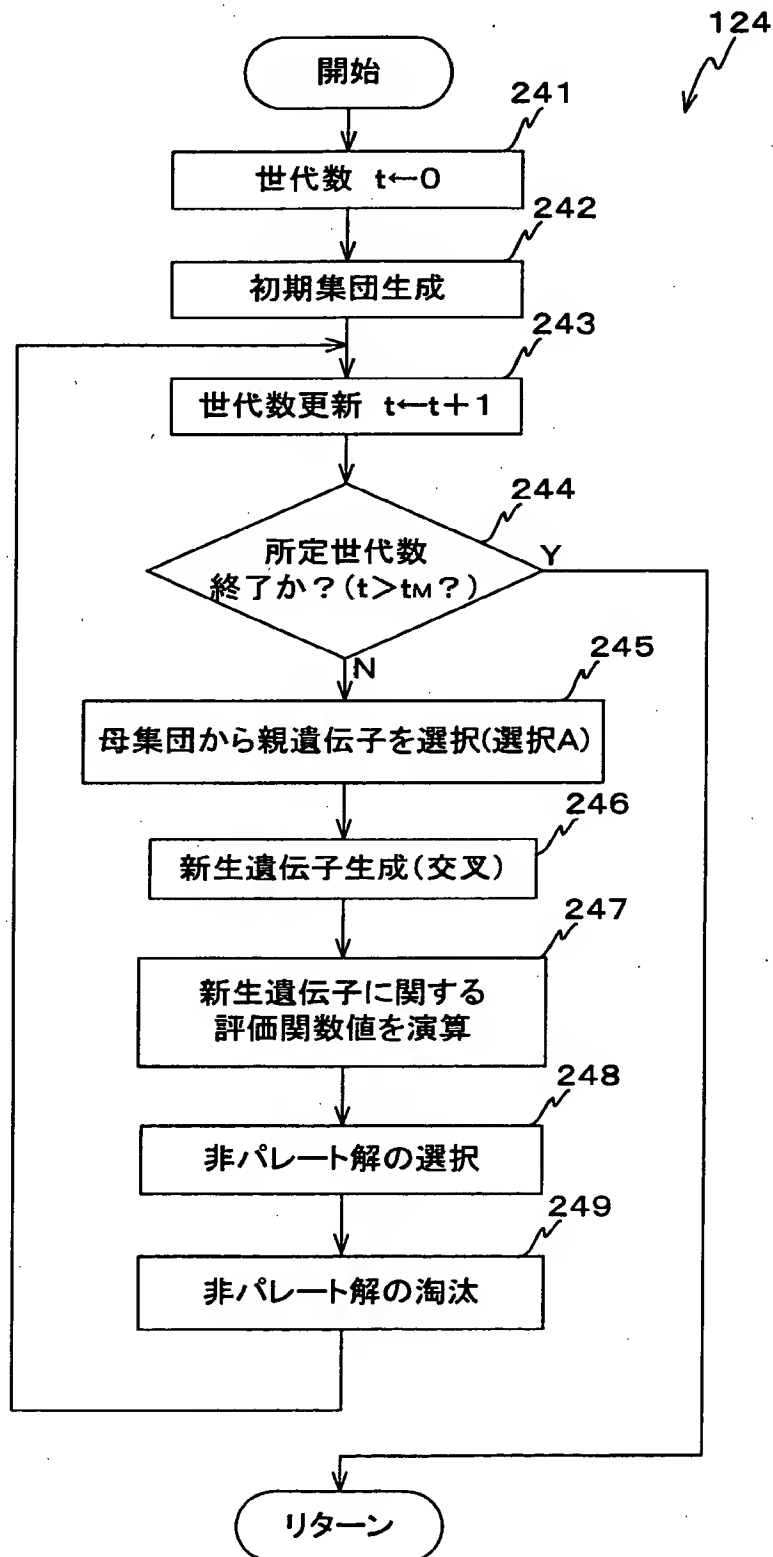
【図10】



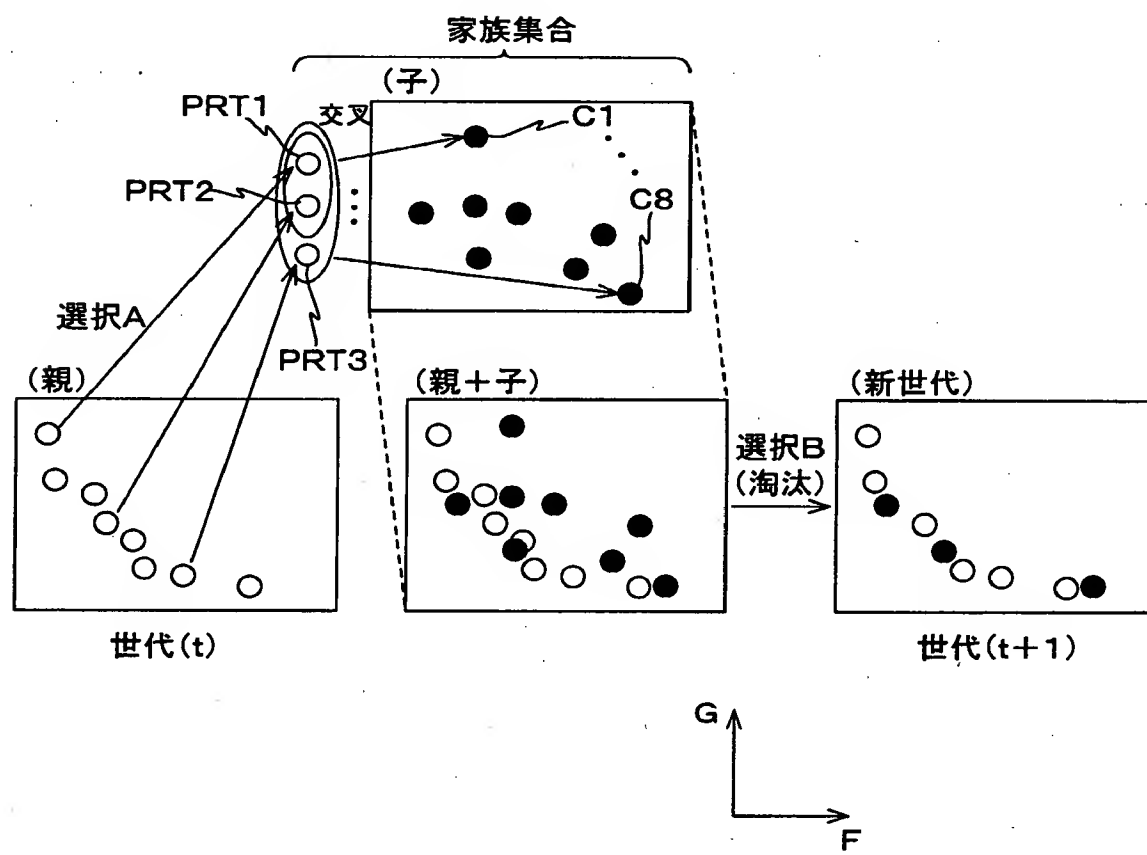
【図 11】



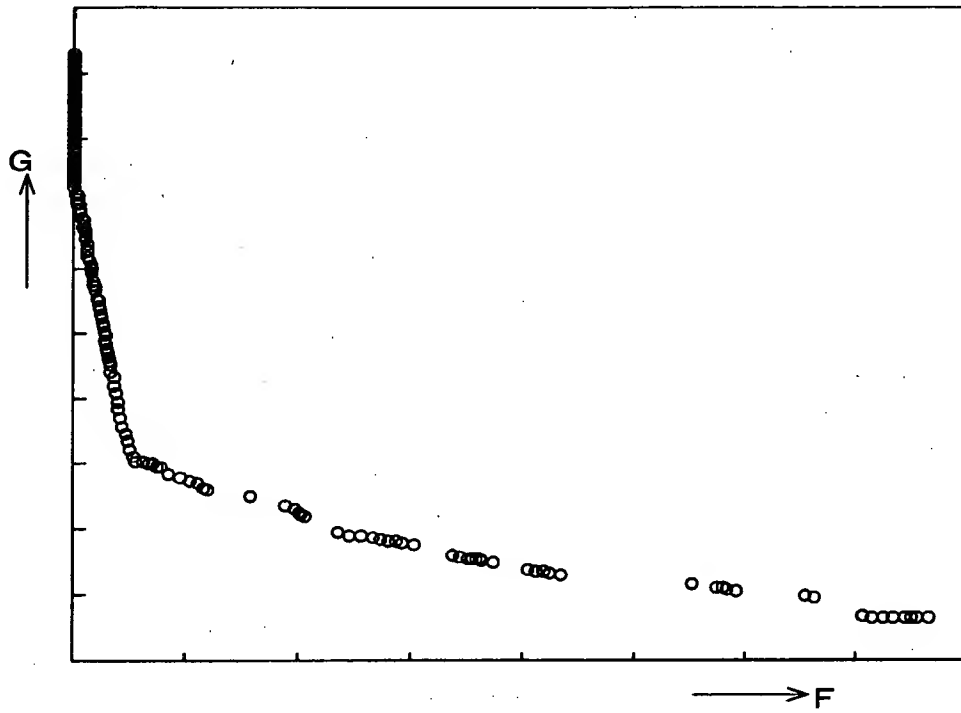
【図 12】



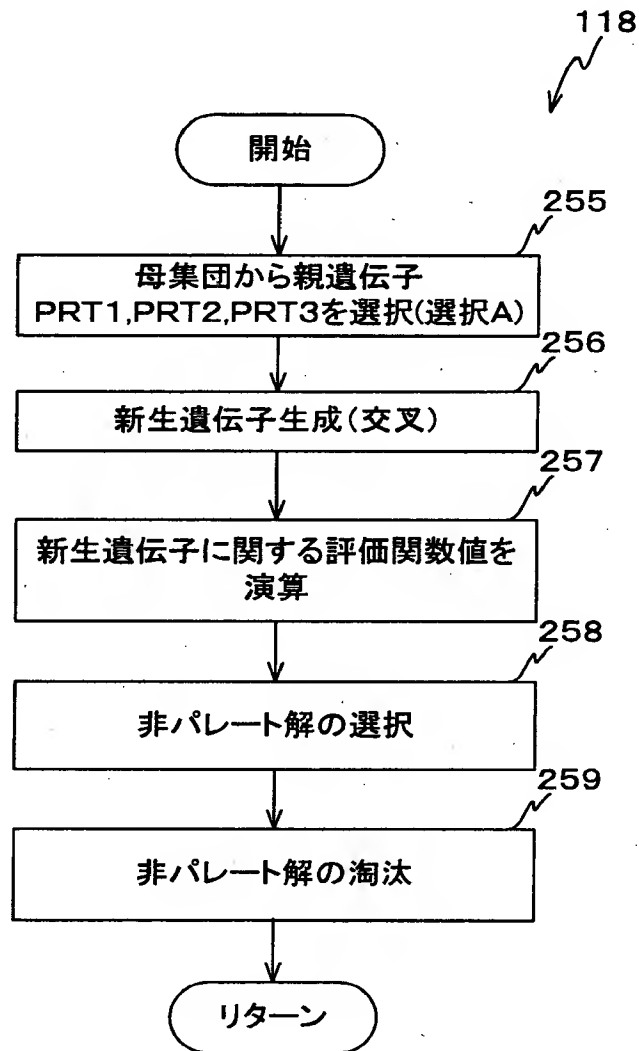
【図13】



【図14】



【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 制御系のパラメータの値を、所定の性能に関して最適化する。

【解決手段】 制御系 $WC S_X$ において、その制御系 $WC S_X$ が有する少なくとも1つの連続値パラメータ $K P_X$, $K V_X$, $K F_X$ の変化に対して、制御系 $WC S_X$ の性能の評価基準となる評価関数の変化について単峰性が保証されていない場合や、互いに独立して変化する複数の評価関数が定義される場合であっても、当該評価関数に関し、連続値パラメータ $K P_X$, $K V_X$, $K F_X$ について大域的な最適化を行いつつ最適解を求める。したがって、着目した性能の向上について最適化された制御系 $WC S_X$ を実現することができる。

【選択図】 図4

特2000-362694

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2000-362694
受付番号	50001536363
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成12年11月30日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成12年11月29日

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

氏 名 株式会社ニコン